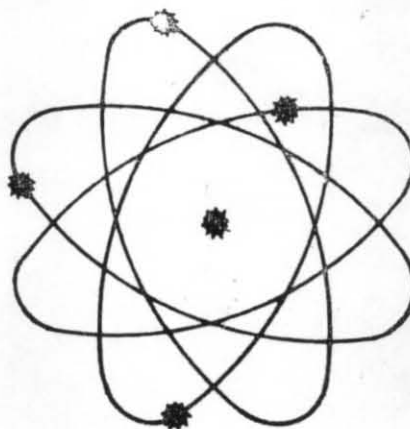


CONFIDENCIAL

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ENSINO E PESQUISA
DIRETORIA DE PESQUISA E ENSINO TÉCNICO

ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL



CONFERÊNCIA PROFERIDA PELO
Ten Cel TEÓFILO PORTELA CHAGAS
CHEFE DO SETOR DE ENERGIA NUCLEAR DA DPET
MINISTÉRIO DO EXÉRCITO

24 JUL 1974

CONFIDENCIAL

2M-46-1, p. 55/192
CONFIDENCIAL

ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

CONFIDENCIAL

AGRADECIMENTOS

Cumprimos agora o grato dever de agradecer a todos aqueles que nos ajudaram na realização da presente conferência, e em particular:

Ao Exmo Sr Gen JOSÉ ALVES MARTINS, Diretor de Pesquisa e Ensino Técnico, por toda a orientação, apoio e estímulo com que nos honrou.

Ao Exmo Sr Gen JOSÉ GUIMARÃES PINHEIRO, Diretor do Instituto Militar de Engenharia, pelo estímulo e apoio com que nos distinguiu.

Ao Ten Cel MANOEL DIAS FILHO por sua inestimável cooperação na revisão e correção dos originais e nas sugestões oferecidas.

A minha família por toda a compreensão e ajuda demonstradas.

A minha secretária Sra. IVONE BOLZANI DE TORRES e suas colaboradoras Sra. CLAUDIA e Srta. JAYA pela grande cooperação prestada na organização, revisão, preparo de slides e todas as demais providências necessárias.

ÍNDICE
ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

	pág.
– INTRODUÇÃO	i
– SIGLAS	ii
I – ENERGIA NUCLEAR	
1.1 - Importância Atual da Energia Nuclear	1
1.2 - Aspectos Técnicos e Econômicos	2
1.2.1 - Características Gerais de Uma Usina Nuclear	2
1.2.2 - Materiais Físseis	3
1.2.3 - Água Pesada	5
1.2.4 - Segurança da Usina Nuclear	6
1.2.5 - Custo da Energia Nuclear	8
1.3 - Linhas de Reatores	10
1.3.1 - Reatores Térmicos	10
1.3.2 - Reatores Rápidos	11
1.3.3 - Comparação entre as Diversas Linhas	11
1.4 - Perspectivas Futuras	12
1.4.1 - Reatores Rápidos	12
1.4.2 - Reatores de Fusão	13
II – POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA	
2.1 - Aspectos Nacionais	14
2.1.1 - Diretrizes que definem a Política Nacional de Energia Nuclear	14
2.1.2 - Ministério de Minas e Energia	16
2.1.3 - Ministério das Relações Exteriores	17
2.1.4 - Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) 72/4	18
2.1.5 - Plano Básico do Desenvolvimento Científico e Tecnológico 73/4	18
2.1.6 - Política de Pesquisas do Exército	20
2.2 - Aspectos Internacionais	21
2.2.1 - Salvaguardas	22
2.2.2 - Tratado de Não Proliferação de Armas Atômicas	24
2.2.3 - Tratado de TLAELOLCO (MÉXICO)	27
2.2.4 - Acordos Internacionais	27

(Continua)

III – DESENVOLVIMENTO NUCLEAR BRASILEIRO

3.1 - Marcos do Desenvolvimento Nuclear Brasileiro	29
3.2 - Instituições Brasileiras no Campo da Energia Nuclear	30
3.2.1 - Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)	31
3.2.2 - Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN)	35
3.3 - Usina Nuclear de Angra dos Reis (ITAORNA)	39
3.3.1 - Histórico da Usina	39
3.3.2 - Projeto em Andamento	39
3.4 - Energia Nuclear em Instituições Militares	41
3.4.1 - Exército	42
3.4.2 - Marinha	44
3.4.3 - Aeronáutica	44
3.5 - Formação e Aperfeiçoamento de Pessoal	45
3.5.1 - Simpósio de Energia Nuclear	45
3.5.2 - Treinamento no País	47
3.5.3 - Treinamento no Exterior	50
3.6 - Programa Nuclear Brasileiro	50
3.6.1 - Previsão para a Instalação de Centrais Nucleares	52
3.6.2 - Custos do Programa Nuclear até o Ano 2000	53

IV – POSSIBILIDADES TÉCNICAS NACIONAIS

4.1 - Prospeção de Minérios Nucleares	54
4.1.1 - Fases da Prospeção	54
4.1.2 - Ocorrências Brasileiras de Urânio	55
4.1.3 - Reservas Brasileiras de Urânio	56
4.1.4 - Fontes Potenciais de Urânio no Brasil	57
4.1.5 - Necessidades Brasileiras em Urânio	57
4.2 - Perspectivas para as Indústrias do Ciclo de Combustíveis	57
4.2.1 - Instalação de Fábricas	59
4.2.2 - Custos	59
4.3 - Levantamento da Indústria Nacional	60
4.3.1 - Capacidade de Fabricação de Componentes	60
4.3.2 - Controles de Qualidade	62
4.4 - Produtos Nucleares da USAM	63

V – ENERGIA NUCLEAR EM OUTROS PAÍSES

5.1 - Desenvolvimento Nuclear	63
5.1.1 - Argentina	64
5.1.2 - Índia	67
5.1.3 - Israel	71
5.1.4 - Outros Países	73

5.2 - Reatores de Potência	73
5.2.1 - Programas de Reatores de Potência	74
 VI – APLICAÇÕES MILITARES	
6.1 - Artefatos Nucleares	79
6.1.1 - Bomba Atômica (FISSÃO)	79
6.1.2 - Bomba de Hidrogênio (FUSÃO)	80
6.2 - Programa Militar	80
6.2.1 - Relações com o Programa Nacional	81
6.2.2 - Custos	81
6.2.3 - Etapas Fundamentais	82
6.2.4 - Alternativas	84
6.3 - Navios de Guerra de propulsão nuclear	86
 VII – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	
7.1 - Conclusões	87
7.1.1 - Energia Nuclear	87
7.1.2 - Política Nuclear Brasileira	89
7.1.3 - Desenvolvimento Nuclear Brasileiro	90
7.1.4 - Possibilidades Técnicas Nacionais	92
7.1.5 - Energia Nuclear em Outros Países	93
7.1.6 - Aplicações Militares	95
7.2 - Sugestões	96
7.2.1 - Aspecto Normativo	96
7.2.2 - Aspecto Técnico	97
7.2.3 - Estratégia Nuclear para um desenvolvimento autônomo	97
 BIBLIOGRAFIA	 99

INTRODUÇÃO

Atendendo a solicitação do EMFA, foi preparada a presente conferência, no propósito do fornecimento de todos os informes disponíveis dentro do tema proposto: **"ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL"**. Produziu-se, também, comparar diversas hipóteses e sugerir possíveis linhas de ação.

A importância e amplitude do tema, envolvendo aspectos técnicos, econômicos, políticos e de segurança nacional, tem feito com que diferentes órgãos da alta administração nacional, personagens políticas e pessoal técnico em geral o venham estudando intensamente, nos últimos anos.

O Capítulo I — **ENERGIA NUCLEAR** — Procura mostrar os aspectos gerais técnicos e econômicos da geração nuclear de energia elétrica, diferentes linhas de reatores e perspectivas futuras.

Já o Capítulo II — **POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA** — trata da parte conceitual da Política Nuclear Brasileira, citando Leis, Decretos, Tratados, Convênios, etc., que permitam estabelecer um quadro atual do problema.

No Capítulo III — **DESENVOLVIMENTO NUCLEAR BRASILEIRO** — relata-se as missões e as realizações nacionais no campo nuclear, bem como os programas em andamento ou futuros.

O Capítulo IV — **POSSIBILIDADES TÉCNICAS** — diz respeito a um levantamento das possibilidades nacionais na execução de um programa nuclear de grande porte até o ano 2000.

O Capítulo V — **ENERGIA NUCLEAR EM OUTROS PAÍSES** — dá um panorama geral da utilização da Energia Nuclear no estrangeiro com particular ênfase na Argentina, Israel e Índia.

Quanto ao Capítulo VI — **APLICAÇÕES MILITARES** — objetiva mostrar o emprego dos materiais físséis como explosivos de uso militar.

O Capítulo VII — **CONCLUSÕES E SUGESTÕES** — procura indicar a possibilidade do estabelecimento de programas nucleares que permitam uma eventual utilização militar.

SIGLAS

AECL	—	Comissão de Energia Atômica do Canadá
AGR	—	Reator avançado a gás
BWR	—	Reator de água leve fervente
CBTN	—	Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear
CNEA	—	Comissão Nacional de Energia Atômica Argentina
CNEN	—	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CPRM	—	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
FBR	—	Reator rápido
GCFR	—	Reator regenerador, refrigerado a gás
HWTC	—	Reator a água pesada, conversor de Tório
HTGR	—	Reator de alta temperatura, refrigerado a gás
HWBLW	—	Reator de água pesada fervente, refrigerado a água leve
HWR	—	Reator de água pesada
IAEA	—	Agência Internacional de Energia Atômica
IEA	—	Instituto de Energia Atômica (S. PAULO)
IEN	—	Instituto de Energia Nuclear (Fundão — GB)
IPR	—	Instituto de Pesquisas Radioativas (B. Horizonte)
IRD	—	Instituto de Radioproteção e Dosimetria (Jacarepaguá — GB)
LMFBR	—	Reator regenerador, refrigerado a metal líquido
LWR	—	Reator a água leve
MSBR	—	Reator regenerador a sal fundido
MSCR	—	Reator conversor a sal fundido
PHWR	—	Reator de água pesada pressurizada
PWR	—	Reator de água leve pressurizada
SGHWR	—	Reator de água pesada fervente, a urânio enriquecido
SIPRI	—	Instituto Internacional de Investigação para a Paz (Estocolmo)
TNPAA	—	Tratado de Não Proliferação de Armas Atômicas
USAEC	—	Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos

I— ENERGIA NUCLEAR

Citaremos de início os aspectos técnicos e econômicos da geração nuclear de energia elétrica; dentro das diferentes linhas de reatores, os principais tipos de usinas nucleares de potência e, as perspectivas futuras.

1.1 IMPORTÂNCIA ATUAL DA ENERGIA NUCLEAR

Quase três décadas após as espetaculares aplicações militares da energia nuclear, a relação de seus usos e aplicações é composta de grande número de itens em quase todos os campos do conhecimento humano, seja como ferramenta preciosa de pesquisa, seja como utilização econômica das propriedades da liberação dessa energia. Mais extensas e variadas são as possibilidades ainda em fase de experimentação, mas com perspectivas bem auspiciosas. Uma das aplicações de maior impacto, atual e futuro, na economia das nações, é a geração de energia elétrica: os reatores nucleares de potência estão, progressivamente, substituindo as usinas termo-elétricas convencionais.

Outras aplicações de reatores, com sucesso assegurado, exigem evolução do mercado ou aperfeiçoamento que garantam sucesso econômico. Estão nessa categoria a propulsão naval, a dessalinização da água do mar e a produção de vapor industrial para utilização em usinas químicas ou como fonte térmica para a redução direta de minério de ferro nas usinas siderúrgicas. Por outro lado, as explosões nucleares, provavelmente, serão utilizadas industrialmente em mineração, petróleo e extração de gás natural e o sucesso técnico-econômico, aliado à solução dos problemas ecológicos, poderá ser estimulador da aplicação de explosivos nucleares em grandes obras de engenharia civil, na movimentação de grandes massas de terra.

A produção de radioisótopos em reatores de pesquisa ou em alguns tipos especialmente projetados para esse fim tem permitido o desenvolvimento de novas técnicas de análise, tanto na engenharia como na biologia, superando as convencionais em qualidade e economicidade, além dos benefícios registrados em outros campos das atividades humanas, especialmente na agricultura [1].

A presente década está sendo marcada pela preocupação com a crise de energia. O petróleo, que atende a 45% dos requisitos energéticos mundiais, está com suas reservas densamente condensadas no mundo árabe, que disso tem tirado o máximo proveito para as suas reivindicações políticas.

Segundo as estimativas do "World Petroleum Report", as reservas petrolíferas atingem a cifra de 500 bilhões de barris, o que faz supor, se mantidas as taxas de crescimento da economia mundial agora estimadas, que só haverá óleo para mais vinte e cinco anos.

Por outro lado, o petróleo está sendo considerado, cada vez mais, como um produto nobre, fazendo com que se desvie sua utilização de combustível para a de matéria prima da petroquímica, que já assumiu o seu lugar de destaque na vida moderna. A outra face das preocupações atuais é a poluição ambiental, cuja responsabilidade maior cabe à queima do petróleo e do carvão.

Diante deste panorama, as alternativas são a exploração da capacidade hidroelétrica ao máximo e a utilização da energia nuclear, a primeira restrita às condições geográficas e a segunda já competitiva e cada vez mais utilizada. A energia nuclear é a solução para as necessidades crescentes de combustíveis sólidos, e sobretudo líquidos, nos países da Europa Ocidental, nos Estados Unidos, e no Japão. Uma segurança quanto ao suprimento energético é reforçada graças ao fato de que as ocorrências de urânio são razoavelmente distribuídas no mundo, embora a exploração econômica esteja restrita a poucos países [1].

1.2 ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS

Tendo em vista a sistematização dos assuntos a serem tratados mais adiante, lembraremos aqui alguns aspectos gerais relativos às usinas nucleares de potência, bem como as características de produção e utilização de alguns dos materiais nucleares de maior importância.

1.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UMA USINA NUCLEAR

Uma usina nuclear de potência, é semelhante a uma usina térmica convencional. O reator se destina à geração de calor, correspondendo à fornalha da usina térmica. O vapor gerado num ou noutro caso, aciona as turbinas onde a energia térmica é convertida em energia mecânica. Por sua vez o gerador é acionado pela turbina, transformando a energia mecânica em energia elétrica.

A energia produzida por uma tonelada de urânio é equivalente a queima de 50.000 toneladas de carvão.

Um reator nuclear pode ser colocado próximo aos centros consumidores poupando assim os custos da transmissão da energia elétrica a grandes distâncias.

Já a localização das usinas termo-elétricas é condicionada a fatores como a proximidade dos centros de produção do combustível, carvão ou óleo.

1.2.2 MATERIAIS FÍSSEIS

Veremos agora rapidamente como obter os isótopos físseis mais usados na geração de energia controlada ou explosiva.

1.2.2.1 ENRIQUECIMENTO DO URÂNIO NATURAL

Contendo o Urânio Natural apenas 0,7% de Urânio-235 físsil, é necessário enriquecê-lo, isto é, elevar a porcentagem desse isótopo, para podermos utilizá-lo em reatores de potência a água leve. Para reatores de pequeno porte como os de submarinos, bem como para artefatos nucleares é necessário alto enriquecimento.

Os Estados Unidos (Hanford), Inglaterra (Capehurst), Rússia, França (Pierrelatte) e China possuem plantas de enriquecimento e a Euratom espera construí-la breve.

O método da difusão gasosa, inicialmente desenvolvido para a manufatura de armas nucleares, tem sido o único método usado industrialmente e os Estados Unidos o tem conservado em segredo, mas colocando os serviços de enriquecimento à disposição de outros governos para funcionamento de reatores. Essa política desestimula as outras nações a adquirir sua própria capacidade no setor e atende aos interesses dos países produtores na venda de enriquecimento e na vantagem que seus fornecedores obtêm, ao oferecerem serviços integrados.

A tecnologia de centrífuga a gás para enriquecimento de urânio tem sido grandemente desenvolvida nos últimos anos pela possibilidade de instalações menores e com menor custo de capital. Os últimos relatórios sobre os trabalhos conjuntos do Reino Unido, República Federal da Alemanha e Holanda indicam que os dispositivos tiveram sucesso técnico e econômico que permitirão, brevemente, a operação industrial. Mais importantes, no entanto, que as viabilidades técnicas e econômicas para a construção de grandes instalações de centrífugas são as decisões políticas que deverão ser tomadas pelos governos dos Estados Unidos e Japão e pela Comunidade Européia, devido as incertezas provenientes das previsões de instalações de reatores de diversas tecnologias ainda em desenvolvimento, aproveitamento ou não de excesso de estoques militares (dos Estados Unidos) de urânio enriquecido, ou sua aquisição na Rússia, além de novas instalações de

enriquecimento, usando difusão gasosa nos Estados Unidos e na Europa.

Outros processos encontram-se em estágios de pesquisa ou desenvolvimento, destacando-se o jato centrífugo a gás, na República Federal da Alemanha, e o ainda não revelado método sul africano.

O urânio empobrecido, que constitui o rejeito, contém 0,2% de Urânio-235 e os restantes 99,8% de Urânio-238 [2]. Não podemos aproveitar atualmente, esse Urânio-235 rejeitado.

O custo do investimento fixo para uma usina de difusão gasosa era de cerca de 1 ^{bilhão} milhão de dólares, em 1967 [3], exigindo um suprimento de 8.000 ton de urânio natural anuais e 2,4 MW para sua operação, em regime de 24h/dia.

1.2.2.2 PRODUÇÃO DE PLUTÔNIO

O plutônio é obtido em reatores térmicos por irradiação neutrônica do Urânio-238, que constitui 99,3% do urânio natural. É necessário, em certos casos, enriquecê-lo em seu isótopo Plutônio-239.

Todos os países do clube atômico produzem Plutônio-239 para a fabricação de bombas, por ser mais abundante a matéria prima, o Urânio-238, e por serem menores as massas necessárias.

Os Estados Unidos operaram durante 15 anos em HANFORD, 8 reatores de grafite-urânio natural, totalizando 800 MW térmicos exclusivamente para a produção de Plutônio. A Inglaterra construiu reatores em CALDER HALL otimizados para a produção de Plutônio. A Rússia construiu centrais semelhantes, com 600 MW térmicos.

A França, para se livrar das SALVAGUARDAS, construiu um pequeno reator de 40 MW, com o qual produziu o Plutônio para sua primeira bomba.

Os reatores a água pesada produzem 50 a 60% mais plutônio que os de água leve. Um reator CANDU de 600 MW, a água pesada, produz 240 Kg de Plutônio por ano.

1.2.2.3 PRODUÇÃO DE URÂNIO-233

O Urânio-233 é talvez o melhor elemento físsil, e pode ser usado em reatores

LWR (água leve) em reatores rápidos, etc. É obtido por irradiação neutrônica do Tório-232, do qual possuímos grandes reservas nas areias monazíticas. Existe também na monazita em pedra.

Ao longo de vários anos a Usina Santo Amaro (USAM) tem produzido e estocado sais de Tório-232.

A Índia já desenvolveu a tecnologia de produção do Urânio-233 em escala piloto.

Vários países vem utilizando o Tório em seus reatores há cerca de 10 anos.

1.2.3 ÁGUA PESADA [4]

O deutério existe na natureza, em pequena proporção na água e em qualquer composto que contenha hidrogênio, daí ser relativamente abundante na hidrosfera terrestre.

Sua obtenção é difícil e cara; Canadá, Estados Unidos, Rússia e Índia produzem em escala industrial; Alemanha, Suécia, Itália, Inglaterra, Espanha e Paquistão a obtêm em escala piloto e muitos países pesquisam sua obtenção, como atestam as inúmeras comunicações e publicações a respeito existentes em todo o mundo.

Veremos agora as possibilidades de utilização da Água Pesada, na geração de energia.

A água pesada custa atualmente no Canadá, 66 dólares o quilo.

1.2.3.1 MODERADOR

A água pesada é o melhor moderador de neutrons conhecido, permitindo a utilização do urânio natural em reatores térmicos, o que não é possível com água leve.

Um reator da mesma potência que o de Angra dos Reis (623MW), teria um inventário de cerca de 500 ton de água pesada, que não seriam consumidas mas permaneceriam no reator durante sua vida útil.

Uma vez reprocessada, a carga de água pesada, poderá ser novamente usada,

para esse ou outro fim.

Durante a operação do reator há, porém, vazamentos e perdas que a tecnologia procura limitar ao máximo.

Nos modernos reatores a urânio levemente enriquecido, do tipo SGHWR, a água pesada é usada como moderador, devido as suas excepcionais qualidades.

1.2.3.2 COMBUSTÍVEL NUCLEAR

Elemento básico das reações de fusão, sua importância nesse setor é enorme, visto que a liberação de energia na fusão é muito maior que na fissão.

O Trítio, também muito importante na fusão pode ser formado durante a irradiação neutrônica da água pesada em reatores térmicos.

1.2.4 SEGURANÇA DA USINA NUCLEAR

A humanidade recebe radiações de um grande número de fontes, as quais estamos expostos durante as 24 horas do dia e desde que nascemos; a radiação natural existe:

- no próprio corpo humano
- no solo e nas rochas que nos cercam
- nos raios cósmicos que bombardeiam continuamente a terra.

Por outro lado, o homem desenvolveu isótopos radioativos artificiais, na medicina, engenharia, etc., bem como os rejeitos radioativos, provenientes das operações de usinas ou fábricas que trabalham com materiais radioativos naturais ou artificiais.

1.2.4.1 REJEITOS DAS USINAS NUCLEARES

São processados através de tratamento e armazenamento e condicionados a um rígido esquema de controle.

Os elementos combustíveis, após um certo tempo de operação da usina, são

substituídos e transferidos para tanques d'água onde permanecem por muitos meses, até que a radioatividade desça a níveis que permitam o seu manuseio (a distância), tendo em vista o reprocessamento dos materiais neles contidos onde se encontra muito urânio e plutônio, que devem ser recuperados.

1.2.4.2 BARREIRAS PARA EVITAR O ESCAPE DE RADIAÇÃO

Havendo vazamento em um elemento combustível no interior do reator, os produtos vão para o líquido refrigerante de onde são retirados por via química.

O vaso de pressão de aço é feito para suportar qualquer tipo provável de sobrepressão.

Eventualmente, se houver vazamentos fora do vaso de pressão, estes serão contidos pelo envoltório de contenção de gases, que envolve todo o conjunto gerador de vapor.

Pela chaminé da usina são liberados os gases radioativos em quantidades mínimas e de acordo com limites fixados por organizações internacionais. O combustível nuclear não produz fumaça nem fuligem, ao contrário dos térmicos convencionais.

1.2.4.3 NÍVEIS DE RADIAÇÃO PRÓXIMO AO REATOR

A experiência mostra que a radiação que se pode receber durante um ano, vivendo nas proximidades de uma usina nuclear equivale a que recebe em uma só viagem intercontinental, um piloto de avião. Isto representa 1/20 do que se recebe de fontes naturais, vivendo ao nível do mar, ou 1/40 do que recebem os habitantes de uma cidade situada a 600m de altitude, em um ano.

Não há pois, normalmente, nenhum problema na instalação de uma usina nuclear em local próximo dos centros urbanos, como acontece com grande número de centrais americanas, inglesas, alemãs, etc.[5].

1.2.4.4. O PERIGO DE EXPLOÇÃO DE UMA USINA NUCLEAR

É uma ocorrência impossível em reatores de urânio natural ou urânio levemente

enriquecido (o caso de Angra), pois os isótopos físséis não estão presentes em proporções suficientes para causar uma explosão.

Além do mais, inúmeros dispositivos de controle e segurança estão sempre presentes nas usinas nucleares, cujo aperfeiçoamento vem sendo feito há cerca de 25 anos.

1.2.4.5 INSPEÇÕES DA AIEA

Em abril de 1973 a AIEA enviou uma missão para inspecionar sob os aspectos de segurança, os reatores de pesquisa do Brasil.

Os resultados foram comunicados às autoridades brasileiras.

Em maio de 1973 outra missão examinou os projetos da Usina de Angra dos Reis, quanto aos aspectos de segurança [6].

1.2.5 CUSTO DA ENERGIA NUCLEAR [7]

A partir de 1965 as usinas nucleares de potência começaram a competir economicamente com as centrais térmicas, em certas regiões do globo.

O custo de geração da energia elétrica tem, basicamente, três componentes:

- Custo da instalação da usina
- Custo do combustível consumido
- Custo de operação e manutenção.

O custo de instalação é maior para as usinas nucleares que para as térmicas convencionais, porém o custo do combustível nuclear é menor que o do carvão ou o do óleo.

Nas regiões afastadas das fontes produtoras de carvão ou óleo, a geração nuclear se torna competitiva.

O custo do reator a água pesada é essencialmente igual ao de água leve, não se levando em conta o inventário de água pesada e o urânio natural de um lado e o urânio enriquecido de outro.

2M. 46. 21 p. 70/

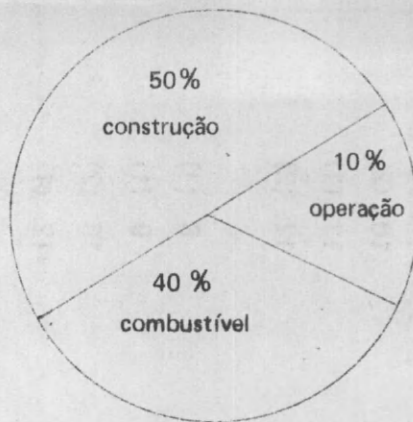
CUSTOS

TIPO DE REATOR	KWh (0,001 US\$)	REATOR (M US\$)	COMBUSTÍVEL (M US\$)	REF
ÁGUA PESADA	4,87	155,0	0,78	8 (1)
	4,75	-	-	9 (1)
	3,84	-	-	12 (1)
PWR	4,88	127,5	5,75	8 (1)
	4,51	-	-	9 (1)
	-	120,0	-	10 (2)
	-	132,0	-	11 (1)
	3,70	-	-	12 (2)
BWR	5,18	137,5	5,75	8 (1)
	4,28	-	-	9 (1)
	-	120,0	-	10 (2)
	3,90	-	-	12 (1)

OBS: - Estudo para um reator de 600 MW (1), 500 MW (2).

- Os dados econômicos são de certa forma inconsistentes, porém em resumo pode-se dizer que o custo da energia produzida é comparável, para reatores de água pesada e de água leve. O custo do combustível é menor para os reatores de água ^{pesada} leve enquanto que o investimento é maior.

2M. 46. 21 p. 70/132



Distribuição do custo de uma usina nuclear [7].

O quadro da página 9 faz uma comparação de custos entre os BWR, PWR e HWR.

1.3 LINHAS DE REATORES

Os reatores de fissão nuclear podem ser agrupados em:

- Reatores Térmicos, que utilizam um moderador para reduzir a velocidade dos neutrons até a energia térmica;
- Reatores Rápidos, que utilizam diretamente os neutrons de fissão, de alta energia, sem moderá-los.

Os reatores comerciais atualmente em operação são todos térmicos.

1.3.1 REATORES TÉRMICOS

Podem ser:

BWR	—	Reatores a água leve fervente (urânio enriquecido)
PWR	—	Reatores a água leve pressurizada (urânio enriq.)
MAGNOX	—	Reatores refrigerados a gás (urânio natural, CO ₂)
AGR	—	Reatores refrigerados a gás (urânio enriq., CO ₂)
HTGR	—	Reatores refrigerados a gás (urânio enriq., tório, He)

PHWR	—	Reatores de água pesada pressurizada
HWBLW	—	Reatores de água pesada fervente (urânio natural) refrigerados a água leve
SGHWR	—	Reatores de água pesada fervente (urânio enriq.)
MSBR	—	Reatores de sal fundido regeneradores
MSCR	—	Reatores de sal fundido conversores.

1.3.2 REATORES RÁPIDOS

Podem ser:

LMFBR	—	Reatores regeneradores, refrigerados a metal líquido
GCFR	—	Reatores regeneradores, refrigerados a gás.

Dos tipos acima apresentados encontram-se atualmente em operação comercial os PWR, BWR, MAGNOX e HWR. Possuem protótipos em operação e reatores comerciais em construção os AGR e HTGR.

Os reatores conversores produzem menos material físsil do que consomem e os regeneradores produzem material físsil em quantidade igual ou superior a consumida. Esses reatores estão ainda em fase de desenvolvimento.

1.3.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS DIVERSAS LINHAS

Cumprir lembrar, também, que não há uma separação nítida e estanque entre as diversas linhas.

Os reatores rápidos dependem, inicialmente, do Plutônio e do Urânio enriquecido, para depois se tornarem auto-suficientes.

Entre os reatores mais modernos, nos quais se depositam grandes esperanças, encontram-se os SGHWR, que usam, concomitantemente, o urânio enriquecido e a água pesada.

Por outro lado, o interesse comercial das grandes empresas fabricantes de reatores, como a GE e a WESTINGHOUSE, soma-se ao interesse das grandes potências nucleares de que nenhum outro Estado desenvolva capacidade nuclear independente.

Assim, essas companhias procurarão impedir de todas as maneiras o desenvolvimento de outros tipos de reatores, inclusive os rápidos e a água pesada, bem como a capacidade de enriquecimento, pois assim, ao venderem reatores aos demais países, os manterão por muitos anos em total dependência política e industrial, da importação de combustível.

Convém, ainda, atentarmos para o fato de que muitos países começaram com dois ou mais tipos de reatores, e todos eles tratam de desenvolver tipos avançados: de reatores térmicos, reatores rápidos e de fusão.

Os reatores que consomem urânio enriquecido estão muito desenvolvidos, graças aos esforços, principalmente da **WESTINGHOUSE** e **GENERAL ELETRIC**, são possivelmente os mais confiáveis e de tecnologia mais conhecida, porém não há futuro para eles, uma vez que apenas 0,7% do urânio natural é constituído por Urânio-235, físsil.

Todas as tecnologias em desenvolvimento no campo da fissão, tendem para os reatores rápidos, que produzem mais material físsil do que consomem.

1.4 PERSPECTIVAS FUTURAS

Em termos de fontes de energia com suprimento praticamente infinito de combustível, temos apenas duas escolhas: reator rápido regenerador e reator de fusão.

1.4.1 REATORES RÁPIDOS

Os conceitos básicos do reator rápido estão bem desenvolvidos e indicam sua praticabilidade.

No caso do LMFBR, temos os problemas de engenharia todos definidos, o que permite afirmarmos que os reatores comerciais serão operacionais, em meados da década de 80.

O terceiro reator rápido norte-americano (FFTF) iniciado em 1970, em HANFORD, entrará em operação ainda este ano; a usina de demonstração já está projetada e deverá entrar em operação em 1980/1 [13].

No Brasil, foi elaborado o Plano Nacional de Reatores Rápidos, em 1973.

1.4.2 REATORES DE FUSÃO

Os reatores de fusão, que empregarão o DEUTÉRIO, obtido da água pesada por simples eletrólise, estão sendo intensamente estudados no Instituto Kusakow (Russia), em 4 dos grandes laboratórios de Energia Nuclear dos Estados Unidos: Princeton, Oak Ridge, Los Alamos e Livermore e na Joint European Tokamak (Europa).

Em nossa pátria os estudos estão sendo feitos no ITA.

A energia produzida será mais barata e menos poluente.

Espera-se que os reatores protótipos entrem em operação em 1980 e os comerciais a partir de 1990.

Os Estados Unidos gastam atualmente 112 milhões de dólares nas pesquisas sobre a fusão.

Como as usinas de fusão devem operar com altas temperaturas, elas oferecerão à indústria e às municipalidades, a possibilidade de utilização do calor residual. Exemplos de tal aplicação seriam: manufaturas diversas, dessalinização da água do mar, processamento do combustível fóssil, aquecimento urbano, etc.

Espera-se que em 2010, os reatores de fusão estejam fornecendo 25% da energia elétrica dos Estados Unidos, ou sejam, cerca de 600.000 MW [13].

1.4.2.1 POLUIÇÃO

O problema dos resíduos radioativos provenientes da operação dos reatores de fissão, e do reprocessamento do combustível irradiado, praticamente não existe nos reatores termonucleares (fusão).

1.4.2.2 COMBUSTÍVEL

O deutério, existente na água e em todas as substâncias que possuam Hidrogênio, produzirá energia suficiente para o abastecimento do mundo inteiro durante muitos séculos.

Sua fusão necessita de temperaturas de 80 a 100 milhões de graus, cuja obtenção constitui o problema principal para o qual se orientam as pesquisas em curso.

Quanto ao outro isótopo necessário, o TRÍCIO, pode ser obtido através do LÍTIO, metal relativamente abundante na crosta terrestre. Sua pesquisa e produção piloto está sendo executada na **USINA SANTO AMARO**, em S. Paulo, pertencente a **CBTN**.

II- POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA

Serão agora focalizados os aspectos conceituais e legais da **POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA**, citando leis, decretos, tratados, convênios, etc... que permitam o estabelecimento de um quadro atual do problema.

2.1 ASPECTOS NACIONAIS [14]

No Brasil, a aplicação da energia nuclear constitui monopólio do Governo.

2.1.1 DIRETRIZES QUE DEFINEM A POLÍTICA NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Foram aprovadas pelo Exmo. Sr Presidente da República em 23 DEZ 67, entrando em vigor a partir de 1 JAN 68.

2.1.1.1 FUNDAMENTOS DA POLÍTICA NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR [15]

Para o estabelecimento da Política Nacional de Energia Nuclear, foram assentados, entre outros, os seguintes fundamentos:

- Direito de utilizar a energia nuclear, para fins pacíficos, como fator preponderante do desenvolvimento nacional, como suporte de nossa segurança e perspectiva de progresso para toda a América Latina.
- Colaboração de países mais adiantados no assunto, para estabelecer uma técnica nacional e implantar uma indústria nuclear em nosso território.

- Cooperação com países em nível técnico equivalente ao nosso, particularmente os da América Latina.
- Colaboração do **BRASIL** para a proscrição de armas nucleares, em todo o mundo, em defesa da paz mundial, mediante o estabelecimento de tratados elaborados no seio das organizações internacionais a que pertencemos; adoção de medidas objetivas, realistas e justas que, garantindo a consecução desse "**desideratum**", não venham a se transformar em meios de cerceamento do desenvolvimento de países considerados não nucleares [1].

2.1.1.2 FINALIDADE DA POLÍTICA NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Promover, no Brasil, com alta prioridade, o emprego da energia nuclear, em todas as suas formas de utilização pacífica, a serviço do desenvolvimento econômico, científico e tecnológico nacional, bem como do bem estar do povo brasileiro.

2.1.1.3 FINALIDADE DAS DIRETRIZES [1]

- Fixar os objetivos imediatos e permanentes a atingir nos campos interno e externo.
- Estabelecer as medidas de base, bem como as de direção, supervisão, coordenação e controle, necessárias ao desenvolvimento dos programas no campo da energia nuclear.
- Precisar as atribuições e responsabilidades dos órgãos públicos, bem como das entidades privadas, no cumprimento dessas medidas, tudo visando à utilização dessa forma de energia e dos conhecimentos técnicos e científicos decorrentes, inclusive pelo estabelecimento de uma técnica nacional e pela implantação de uma indústria nuclear brasileira.

2.1.1.4 OBJETIVOS IMEDIATOS [1]

- Aproveitar plena e racionalmente os quadros de pessoal científico e técnico do País, em todos os níveis, ampliando-os posteriormente, mediante a utilização integral e econômica dos meios de formação existentes, com

2M. 46. 1. p. 77/192

vistas ao atendimento oportuno e progressivo das necessidades do desenvolvimento nuclear.

- Intensificar a pesquisa mineral, a lavra, o beneficiamento, a industrialização, a estocagem e a comercialização de minerais e minérios nucleares.
- Ampliar e equipar os órgãos regionais de pesquisa e de ensino que se dedicam ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia nuclear.
- Estimular a produção, no Brasil, de materiais e equipamentos destinados ao desenvolvimento nuclear, interessando nesse particular a iniciativa privada.
- Promover a instalação de novos reatores de pesquisa, de protótipos e de reatores de potência necessários ao empreendimento dos programas a serem estabelecidos.
- Promover a instalação de um reator de potência para a produção de energia elétrica.
- Estimular a utilização da energia nuclear para fins pacíficos, nos diversos setores do desenvolvimento nacional.

2.1.1.5 RESPONSABILIDADES

Ao **Presidente da República** cabe a orientação geral da Política Nacional de Energia Nuclear [1].

Ao **Conselho de Segurança Nacional** cabe supervisionar, orientar e coordenar a Política Nacional de Energia Nuclear [1].

2.1.2 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

As principais atividades no campo da Energia Nuclear são desenvolvidas no Ministério de Minas e Energia, com a coordenação geral da **CNEN** e a participação das 3 companhias estatais: **CBTN**, **ELETRORÁS** e **CPRM** [14].

As principais responsabilidades de cada uma dessas organizações são:

2.1.2.1 COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN) [14]

- Política e Estratégia Nuclear
- Definição das linhas mestras a serem seguidas no desenvolvimento dos programas
- Licenciamento, padronização, inspeção e atividades normativas relacionadas com as aplicações da Energia Nuclear
- Promoção da pesquisa nuclear básica.

2.1.2.2 COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR (CBTN) [14]

- Construção e operação das plantas relativas a todas as fases do ciclo de combustíveis, desde a produção de concentrados de minério até o reprocessamento do combustível irradiado (monopólio do Governo)
- Promoção da indústria privada nuclear
- Pesquisa e Desenvolvimento tendo em vista a transferência de Tecnologia dos países industrializados
- Fornecimento de facilidades e assistência técnica à indústria nuclear.

2.1.2.3 ELETROBRÁS [14]

- Estabelecimento do programa de geração nuclear
- Financiamento e coordenação dos programas
- Construção e operação das centrais nucleares, através de suas subsidiárias.

2.1.2.4 COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS [14]

- Prospeção dos minérios de urânio, sob o patrocínio da CNEN [14]

2.1.3 MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES

Ao Ministério das Relações Exteriores, em consonância com o Ministério de Minas e Energia cabe assessorar, quanto ao aspecto político-diplomático, os Ministérios ou órgãos interessados, bem como proceder, após audiência do Conselho de Segurança Nacional, à elaboração e à assinatura de acordos e convênios, com governos e entidades privadas

estrangeiras e com organismos internacionais, necessários ou úteis à execução dos programas estabelecidos.

2.1.4 1º PLANO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (PND) 1972/74 [16]

A Lei nº 5.727, de 4 de NOV de 1971, aprovou o PND, que previa:

- implantação da 1ª Central Nuclear de Potência, na região Centro-Sul;
- início do ciclo do combustível, com implantação de um complexo industrial;
- constituição da CBTN;
- assimilação e progressiva adaptação da Tecnologia Nuclear;
- formação e treinamento de pessoal;
- aplicação de radioisótopos.

2.1.5 PLANO BÁSICO DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (PBDCT) 1973/74

O PBDCT 73/74 foi aprovado pelo Decreto nº 72.527 de 25 JUL 73. Entre os Programas Setoriais Prioritários, avulta o relativo a Energia Nuclear, contemplado com Cr\$ 177 milhões em 1973 e Cr\$ 224 milhões em 1974, num total de Cr\$ 401 milhões no biênio [17].

2.1.5.1 PROJETOS PRIORITÁRIOS NO CAMPO DA ENERGIA NUCLEAR

Serão realizados no âmbito do Ministério do Exército e do Ministério de Minas e Energia.

2.1.5.2 PROGRAMA DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA [17]

O MME será encarregado dos seguintes itens:

- Tecnologia de Reatores: objetivando a criação de mecanismo que permita a ação conjunta da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Indústria e Companhias de Energia Elétrica, visando a participação crescente da indústria nacional no campo da Energia Nuclear;

- Reatores Rápidos: visando estudo sistemático dos problemas existentes na construção e operação de reatores rápidos;
- Tecnologia de Combustíveis Nucleares: objetivando estudo técnico econômico da implantação do conjunto de usinas do ciclo de combustível nuclear;
- Isótopos na Medicina, Engenharia e Indústria: este programa, em desenvolvimento na **CNEN**, se realizará através de contratos com entidades de pesquisa e com a indústria, para a utilização de radioisótopos;
- Radioisótopos na Agricultura: tendo por objetivo contribuir para o aumento e a melhoria das colheitas e da produção animal no País, através da aplicação da Ciência e da Tecnologia Nuclear;
- Pesquisas Básicas: este projeto, a ser realizado mediante convênio entre Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (**CBTN**) e vários institutos de pesquisa nacionais, visa a criação de bases sólidas em Física, Química e Ciências dos Materiais, indispensáveis ao desenvolvimento da tecnologia nuclear nacional;
- Formação de Pessoal: trata da formação e do aperfeiçoamento das equipes necessárias ao desenvolvimento do programa nuclear brasileiro, através de Convênios com Universidades nacionais e estrangeiras;
- Prospecção de Minérios Nucleares: visando o reconhecimento radiométrico e geológico de uma área de aproximadamente 319.900 Km² e sondagens e perfilações de 89.000 m, a serem realizados no Nordeste (Seridó), Salvador, Goiânia, Belo Horizonte, Campo Grande, Ponta Grossa e Porto Alegre.

2.1.5.3 PROGRAMA DO MINISTÉRIO DO EXÉRCITO [17]

Os projetos prioritários a serem desenvolvidos pelo Ministério do Exército são:

- Desenvolvimento da Instalação Piloto para a Obtenção de Água Pesada: visando a construção de uma usina piloto para 2 a 3 ton por ano;
- Preservação de bens perecíveis: visando estabelecer condições para a preservação das rações usadas nas Forças Armadas, com radiações gama.

2.1.6 POLÍTICA DE PESQUISA DO EXÉRCITO

As Políticas Setoriais vigentes a partir do ano de 1972 estabelecem os elementos que caracterizam a **POLÍTICA DE PESQUISA DO EXÉRCITO** [18].

2.1.6.1 FINS DA POLÍTICA DE PESQUISA [18]

a. Estimular a criação de ambiente que permita aos quadros do Exército acompanhar e tirar partido dos progressos da Ciência e da Técnica, visando a melhor preparação da Força Terrestre.

b. Criar e desenvolver um núcleo de oficiais altamente qualificados nos diversos setores vinculados à organização, ao equipamento, à preparação e ao emprego da Força Terrestre, aptos para realizar pesquisa em áreas específicas, bem como, para estabelecer vínculo com institutos e centros de pesquisa nacionais e estrangeiros, por forma a incorporar ao instrumental e atividades do Exército, os mais avançados produtos da Ciência e da Técnica.

c. Desenvolver técnicas avançadas referentes a fabricação de material bélico com o duplo propósito de:

- orientar a indústria nacional para produzir os materiais necessários ao Exército;
- aplicá-las, quando apropriadas, ao parque industrial orgânico.

2.1.6.2 ESTRUTURA DA PESQUISA NO EXÉRCITO [18]

A análise da conjuntura atual do País indica que o Exército deverá manter uma estrutura própria de pesquisa, destinada a atender às suas necessidades, sem prejuízo da cooperação que lhe poderia ser prestada por entidades estranhas a organização, através de convênios ou contratos.

2.1.6.3 SISTEMA DE PESQUISA NO EXÉRCITO [18]

a. O sistema de pesquisa do Exército é constituído pelo Estado-Maior do Exército, pelos vários órgãos da alta administração, de nível departamental, e por suas diretorias integrantes.

b. Como órgão de direção geral, o **EME** elaborará e submeterá a aprovação do Ministro do Exército:

- diretrizes periódicas para a realização da pesquisa no Exército;
- o programa geral da pesquisa a realizar, integrando as propostas dos Departamentos, compatíveis com as prioridades estabelecidas e com os recursos disponíveis.

c. Aos Departamentos compete:

- as atividades ligadas aos programas de pesquisa das áreas de suas jurisdições; a execução desses programas dependerá de autorização do **EME**;
- a apresentação de proposta ao **EME**, para a realização de pesquisa aplicada aos materiais, da área de jurisdição do **DEP**.

d. A pesquisa básica ou pesquisa científica, no âmbito do Exército, é da competência do Departamento de Ensino e Pesquisa, que a empreende por intermédio da Diretoria de Pesquisa e Ensino Técnico (**DPET**).

e. No âmbito da **DPET** deverão funcionar centros de pesquisa e desenvolvimento, entre os quais o de Técnicas Nucleares.

Este centro ainda não está ativado, porém, encontram-se em funcionamento os dois grupos de pesquisa correspondentes aos projetos prioritários na área nuclear, o Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento de Preservação de Bens Perecíveis e o Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento da Água Pesada.

2.2 ASPECTOS INTERNACIONAIS

O caminho para atingir a economicidade nos diversos usos e aplicações da energia nuclear tem sido árduo por várias razões, de certo modo relacionadas com a primeira utilização prática de que a humanidade tomou conhecimento, ou seja a utilização militar; duas dessas razões são preponderantes:

- o controle severo que as potências nucleares exercem sobre os materiais nucleares, ao mesmo tempo que procuram impedir ou protelar o desenvolvimento das tecnologias de obtenção de materiais físséis por outras nações;
- o receio público de que a operação de reatores possa liberar quantidades

perigosas de radionuclídeos e que acidentes provoquem danos catastróficos.

Os custos dos controles de segurança daí advindos tem onerado as aplicações da energia nuclear, reduzindo suas potencialidades econômicas.

2.2.1 SALVAGUARDAS

O verdadeiro objetivo da salvaguarda é impedir que qualquer país não pertencente ao "Clube atômico" possa utilizar ou produzir materiais nucleares para fins bélicos.

Infelizmente, tais materiais são basicamente os mesmos; o modo de utilização é que é diferente nas aplicações pacíficas ou militares. Assim, a aplicação de salvaguardas tolhe consideravelmente o desenvolvimento nuclear dos demais países.

2.2.1.1 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (AIEA) [1]

Em 1953, o Presidente Eisenhower apresentou na ONU seu programa "Átomos para a Paz", propondo o controle dos armamentos nucleares e o estabelecimento de ampla cooperação entre todas as nações, tendo em vista a aplicação da energia nuclear para fins pacíficos. O discurso preconizava duas importantes iniciativas:

- 1º) a convocação de uma conferência especial para a franca permuta de informações sobre progressos nucleares;
- 2º) a criação de um organismo internacional para facilitar a cooperação atômica entre os diversos países da ONU, com finalidades pacíficas.

A 1ª sugestão deu como resultado a Conferência de Genebra em 1955, organizada por um **Comitê Consultivo Científico da ONU**, composto de representantes do EUA, URSS, G. Bretanha, França, Canadá, Brasil e Índia, e que continua a existir até hoje.

A 2ª sugestão foi a gênese da criação da **Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)** cujos estatutos foram aprovados em OUT de 1956, sendo instalada no ano seguinte, com sede em Viena.

2.2.1.2 APLICAÇÃO DAS SALVAGUARDAS [1]

De acordo com o Art. II dos Estatutos da AIEA seus objetivos são: "acelerar e

ampliar a contribuição da energia atômica para a paz, a saúde e a prosperidade por todo o mundo". Logo a seguir são acrescentadas medidas acauteladoras para evitar o emprego bélico dessa energia, afirmando-se que a Agência "terá de assegurar, na medida do possível, que a assistência prestada, diretamente ou por solicitação, ou sob sua direção ou controle, não seja utilizada de modo a servir para fins militares".

Esse objetivo dá à AIEA atribuições de estabelecer controle com a aplicação de salvaguardas a materiais físséis especiais, bem como a serviços, equipamentos, instalações e informações. As "salvaguardas" são sistemas de verificações e controle, os quais incluem inspeções locais por funcionários da AIEA.

Quanto a aplicação das salvaguardas, verifica-se que desde o primeiro sistema (em 1961) sucessivas ampliações e revisões as vem estendendo a um número cada vez maior de atividades pacíficas.

Paralelamente, aumentaram os movimentos mundiais, liderados pelas potências nucleares, visando ao "desarmamento nuclear", do qual estariam isentas, de modo peculiar, as potências nucleares. É a conhecida tese de "não-proliferação de armas nucleares" para permitir o congelamento do poder mundial.

Qualquer item sob salvaguarda acarretará, com sua presença, que toda a instalação fique sob salvaguarda.

2.2.1.3 MATERIAIS NUCLEARES SOB SALVAGUARDAS [6]

Em fins de 1972 existiam em todo o mundo, submetidos ao regime de salvaguardas da AIEA:

Plutônio	2.901 Kg
Urânio enriquecido	1.178.024 Kg
Urânio-235	29.912 Kg
Urânio natural	1.840.019 Kg
Urânio empobrecido	298.799 Kg
Tório	6.676 Kg

Os reatores a Água Pesada, tipo CANDU, canadense, como tem máquinas de carregamento contínuo de combustível, permitem, com certa facilidade e difícil fiscalização, controlar o tipo de irradiação, a quantidade e a qualidade de plutônio desejada.

2.2.2 TRATADO DE NÃO PROLIFERAÇÃO DE ARMAS ATÔMICAS (TNPAA) [1]

A Rússia, os Estados Unidos e a Inglaterra, explorando o natural receio dos não nucleares de serem envolvidos em um "holocausto nuclear", conseguiram aprovar um texto que contraria a Resolução 2028, de 1965, da ONU, que indicou os princípios básicos a serem seguidos. Nessa resolução está clara a recomendação de que deveria haver "balanço mútuo de responsabilidades e de obrigações das potências nucleares e não-nucleares".

Entretanto, no Tratado aberto a assinatura voluntária dos países, só há restrições para os não nucleares, enquanto que para as potências nucleares cabe a "obrigação" de não ceder armas nucleares para os países não nucleares.

E mais ainda: em documentos oficiais dos Estados Unidos vê-se a interpretação de que o TNPAA não proíbe aos norte-americanos o uso de armas nucleares em qualquer situação onde isso seja do interesse da segurança dos Estados Unidos.

O tratado visa impedir o desvio de materiais físséis para a produção de armas, através de um sistema de **SALVAGUARDAS INTERNACIONAIS**, supervisionado pela AIEA.

No TNPAA, **POTÊNCIA NUCLEAR** é definida como todo o país que tiver fabricado ou explodido uma arma nuclear ou outro artefato explosivo nuclear antes de 1º de JAN de 1967, incluindo, assim, apenas Estados Unidos, Rússia, Inglaterra, França e China.

2.2.2.1 POSIÇÃO DO BRASIL [1]

Em JUN de 1967, na Escola Superior de Guerra, o então secretário Geral do ITAMARATY, Dr. Sérgio Correa da Costa, declarou que o BRASIL vetaria o Tratado de Genebra (TNPAA), porque seu texto implicava em um entrave tecnológico e um limite ao desenvolvimento nacional.

Nessas condições, o Brasil absteve-se de votar a favor de tal Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares. A aceitar um status de permanente dependência tecnológica, prefere o Governo Brasileiro correr o risco de vir a ser privado de alguma parcela da cooperação internacional para o desenvolvimento da sua tecnologia nuclear.

Coerente, ainda, com sua política internacional no campo nuclear, o Brasil aceita as salvaguardas da AIEA sempre que isso se torne indispensável à concessão de auxílio externo, julgado essencial ao nosso desenvolvimento.

Brilhante análise comparativa entre o **TNPAA** e o Tratado de Tlatelolco encontra-se no trabalho do Eng. Helcio Modesto da Costa [15].

2.2.2.2 SITUAÇÃO ATUAL DO TNPAA

O Tratado, segundo técnicos americanos, está atualmente quase esquecido, porém, mostrou-se relativamente eficiente, pois desde que entrou em vigor, em 1969, as nações que ainda contavam com força nuclear, não chegaram a desenvolvê-la.

Até o momento, grande parte das nações têm sido impedidas de desenvolver uma força nuclear, por não dispor da tecnologia necessária à fabricação do material físsil, Urânio-235, Urânio-233 ou Plutônio-239 imprescindível à fabricação de artefatos nucleares.

Até 30 JUN 73, 95 nações não nucleares haviam assinado o **TNPAA**, 76 dessas nações o ratificaram e 19 delas, entre as quais, o **JAPÃO, SUÍÇA, TURQUIA** e **EGITO** o assinaram mas não o ratificaram [6]

Entre os países que não assinaram o Tratado encontram-se o **BRASIL, ÍNDIA, PAQUISTÃO, ISRAEL, ESPANHA, ÁFRICA DO SUL, PORTUGAL, ARGENTINA** e **CHILE**.

Pretende-se iniciar brevemente em GENEBRA, novos estudos internacionais a respeito do Tratado.

2.2.3 INSTALAÇÕES SALVAGUARDADAS

Mostraremos a seguir as instalações sob salvaguarda da **AIEA**, em nosso País, na Argentina, Israel e Índia [6].

- REATORES DE PESQUISA E TESTES

ARGENTINA

RA - 0	CÓRDOBA
RA - 1	CONSTITUYENTES
RA - 2	CONSTITUYENTES
RA - 3	EZEIZA
RA - 4	ROSÁRIO

BRASIL

IEA R - 1	S.PAULO
IPR R - 1	B.HORIZONTE
IEA R - 1	R.JANEIRO

ISRAEL

IRR - 1	SOREQ
---------	-------

- REATORES DE POTÊNCIA**ARGENTINA**

ATUCHA - 1	ATUCHA
------------	--------

BRASIL

ITAORNA - 1	ANGRA DOS REIS
-------------	----------------

ÍNDIA

TARAPUR 1 e 2	TARAPUR
RAJASTHAN 1 e 2	RAJASTHAN

- INSTALAÇÕES USINAS, FÁBRICAS**ARGENTINA**

PLANTA PILOTO DE REPROCESSAMENTO	EZEIZA
PLANTA PILOTO DE COMBUSTÍVEIS	CONSTITUYENTES

BRASIL

PLANTA PILOTO DE COMBUSTÍVEIS	S. PAULO
-------------------------------	----------

ÍNDIA

COMPLEXO DE FAB. COMBUSTÍVEIS	HYDERABAD
-------------------------------	-----------

2.2.3 O TRATADO DE TLATELOLCO (MÉXICO)

O Tratado de Proscrição de Armas Nucleares na América Latina (Tratado de Tlatelolco), nasceu de uma proposta brasileira à **ONU**, tendo em vista o incidente dos mísseis cubanos.

Em sua elaboração tivemos participação destacada, no sentido de evitar que sua redação pudesse vir a prejudicar o desenvolvimento tecnológico da América Latina.

Assim, na redação do Tratado de Tlatelolco ficou assegurado que o mesmo só entraria em vigor depois que as potências nucleares assumissem compromissos com os países signatários, de respeitarem a inviolabilidade nuclear da região e todos os países da América Latina o assinassem e ratificassem, o que, todavia não se verificou.

Até 30 JUN 73, o Tratado havia sido assinado e ratificado por 18 países [6].

O Tratado permite explosões pacíficas.

2.2.4 ACORDOS INTERNACIONAIS

Concomitantemente com a decisão de não assinar o Tratado Internacional de Não Proliferação de Armas Atômicas, o Brasil resolveu assinar acordos bilaterais sobre a utilização da Energia Nuclear para fins pacíficos, com diversos países, como veremos a seguir.

2.2.4.1 ALEMANHA OCIDENTAL

Foi firmado em 1970 e vem sendo executado através de sucessivos programas anuais acordados entre a **CBTN** e o **Centro Nuclear de JULICH**.

Depois de assinado o acordo, mais de 60 técnicos alemães vieram ao Brasil e um pequeno número de brasileiros foi à Alemanha. Há previsão de um aumento substancial do número de brasileiros que irão se especializar na Alemanha durante o ano de 1974.

2.2.4.2 ESPANHA

O acordo de Cooperação sobre utilização da Energia Atômica para fins pacífi-

cos, concluído e assinado em 1968, entrou em vigor em 1970. Brasil e Espanha tendo necessidade de colaboração entre si, no campo da Energia Nuclear, deram forma contratual a esta cooperação para utilização da Energia Nuclear.

Trata do intercâmbio de informações, aprimoramento de formação profissional, programas de pesquisa, aquisição de material nuclear e equipamentos.

2.2.4.3 ESTADOS UNIDOS

Tendo em vista a construção da usina nuclear de potência de Angra dos Reis, foram assinados os acordos bilateral e trilateral, que serviram como base o contrato de fornecimento de urânio enriquecido para a Comissão Nacional de Energia Nuclear. O acordo bilateral foi celebrado em Washington a 17/7/72 e ratificado pelo Congresso Nacional em 21/8/72. Além do acordo bilateral entre o Brasil e os Estados Unidos, os dois países assinaram em Viena, no dia 21/7/72, um acordo trilateral com a Agência Internacional de Energia Atômica, através do qual ambos os países se comprometem a cumprir o sistema de salvaguardas estabelecido pela referida organização.

2.2.4.4 FRANÇA

O acordo de cooperação para emprego pacífico da energia nuclear, assinado em 1962, entrou em vigor em 1964.

A cooperação entre os dois países abrange intercâmbio de informações, aperfeiçoamento de professores, fornecimento de materiais e reprocessamento de combustíveis irradiados.

2.2.4.5 ÍNDIA

Em 1969 foi ratificado o acordo, que entraria em vigor em 1970.

Foi acertada a troca de informações, intercâmbio de pesquisadores e fornecimento de materiais.

2.2.4.6 ISRAEL

Em 12 de março de 1962 foi firmado um Acordo Básico de Cooperação entre Brasil e Israel.

Em 11 de maio de 1966 foi firmado um Convênio sobre a utilização da Energia Nuclear para fins pacíficos entre Brasil e Israel.

Está em elaboração um convênio específico para o desenvolvimento da produção de Água Pesada pelo processo das AMINAS.

2.2.4.7 INGLATERRA

Foi assinado e entrou em vigor em 1968, um acordo básico.

A cooperação mútua consiste no intercâmbio de pesquisadores, bolsas de estudo e fornecimento de equipamentos.

III— DESENVOLVIMENTO NUCLEAR BRASILEIRO

Veremos neste capítulo como vem sendo equacionado o desenvolvimento nuclear em nosso País, suas realizações, programas e perspectivas futuras.

3.1 MARCOS DO DESENVOLVIMENTO NUCLEAR BRASILEIRO

O desenvolvimento da energia nuclear, no Brasil, começou com a criação do Conselho Nacional de Pesquisas e cresceu com a separação deste, da Comissão de Energia Nuclear, que opera em laboratórios próprios e mediante acordo com outras instituições e vem se consolidando e ampliando com a organização da **COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR (CBTN)**. Seguem-se os principais marcos desse desenvolvimento:

1951 - Fundação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) junto à Presidência da República.

- 1953 - Criação do Instituto de Pesquisas Radioativas (**IPR**) na Universidade Federal de Minas Gerais, funcionando desde 1961 como órgão subordinado à Comissão Nacional de Energia Nuclear.

- 1956 - Estabelecimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear (**CNEN**), diretamente subordinada a Presidência da República, que se torna independente do **CNPq**. Nela se realizam pesquisas fundamentais e aplicadas e se prepara mão de obra especializada.

- 1956 - Criação do Instituto de Energia Atômica (**IEA**), na Universidade de São Paulo, vinculado a **CNEN**.

- 1962 - A lei 4118, de 27 de AGO, estabelece o monopólio estatal da energia atômica e transforma a **CNEN** em Autarquia Federal.

- 1962 - Fundação do Instituto de Energia Nuclear (**IEN**), vinculado a **CNEN**, na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- 1966 - Fundação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (**CENA**) na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, vinculada a **CNEN**.

- 1968 - Acordo **CNEN-ELETRONUC** para construção da 1ª Usina de Energia Nuclear do Brasil.

- 1971 - Data do início dos trabalhos da Usina de Energia Nuclear de Angra dos Reis (PWR-600MW), depois de dois anos de estudos, marcando o cronograma o ano de 1977 para início de seu funcionamento.

- 1971 - A Lei nº 5.740, de 1º de dezembro de 1971, autoriza a Comissão Nacional de Energia Nuclear (**CNEN**) a constituir a sociedade por ações **COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR (CBTN)**.

3.2

INSTITUIÇÕES BRASILEIRAS NO CAMPO DA ENERGIA NUCLEAR

Veremos a seguir as realizações e projetos dos principais centros nucleares do Brasil.

3.2.1 COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN)

A **COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN)** foi criada em 10 OUT 56, como órgão de administração direta. Em 1962 foi transformada em autarquia. Em 1967 passou a ser vinculada ao Ministério de Minas e Energia.

Com a criação da **CBTN**, a **CNEN**, passou a ser um órgão de **Direção, Planejamento e Fiscalização dos Programas Nucleares**, ficando a execução dos mesmos afeta diretamente a **CBTN**, ou mediante convênios à outros órgãos, como a **CPRM, ELETROBRÁS**, etc...

3.2.1.1 MARCOS DO DESENVOLVIMENTO DA CNEN

1953 - Criação do INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS (IPR), em Belo Horizonte.

1956 - Criação do INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA (IEA) em S.Paulo.

1962 - Criação do INSTITUTO DE ENERGIA NUCLEAR (IEN) no Rio de Janeiro (FUNDÃO)

1968 - Convênio **CNEN-ELETROBRÁS** para a construção da primeira usina nuclear de potência.

1971 - Início da construção da usina nuclear de ANGRA DOS REIS, PWR de 600MW.

1972 - Instalação do Laboratório de Dosimetria (LD) em Jacarepaguá, transformado a seguir em INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA (IRD).

1972 - Integração do IEN, IPR e IRD à Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN).

3.2.1.2 CAMPOS DE ATIVIDADE DA CNEN

- FISCALIZAÇÃO DO MATERIAL RADIOATIVO

A construção e operação de centrais nucleares e o uso de qualquer material

radioativo são autorizados e inspecionados pela **CNEN**.

- ENSINO E INTERCÂMBIO CIENTÍFICO

O desenvolvimento de recursos humanos necessários à consecução dos programas nucleares constitui uma das metas prioritárias da **CNEN**.

- APLICAÇÃO DE RADIAÇÕES NA MEDICINA

A **CNEN** tem divulgado, junto a classe médica, técnicas de emprego de radioisótopos e radiação gama, além de apoiar a instalação de laboratórios com fins didáticos, assistenciais e de pesquisa.

- APLICAÇÃO DE RADIAÇÕES NA ENGENHARIA

A **CNEN** estimula a aplicação de radiações na engenharia e indústria, para a resolução de problemas específicos tais como:

- medidas de transporte de sedimento em rios, portos e canais.
- medida de vazão em rios, canalizações e turbinas de hidroelétricas.
- estudos de poluição em geral
- controle de qualidade na fabricação de peças e equipamentos
- determinação do desgaste de peças móveis
- conservação de objetos de arte, etc.

- RADIOISÓTOPOS NA AGRICULTURA

A aplicação do átomo à agricultura deu à humanidade mais de 100 novas variedades de plantas, cereais e frutas, "fabricados" pela agricultura nuclear. Entre elas podemos citar:

- cevada de porte mais baixo, mais produtiva
- feijão de porte mais elevado, que pode ser colhido mecanicamente.
- milho híbrido mais nutritivo
- arroz com maior teor em proteína.

Por outro lado, o progresso obtido se refere também ao controle de pragas, a melhoria dos adubos, estudos ecológicos e de poluição atmosférica [19].

Este setor vem sendo desenvolvido no **CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA (CENA)**, em PIRACICABA.

- PESQUISA BÁSICA E APLICADA

E realizada quer nos institutos, ora pertencentes a **CBTN**, quer no **IEA** de S.Paulo, **CENA** ou em diversas universidades, mediante convênios.

- INFORMAÇÕES NUCLEARES

Está sendo implantado na **CNEN**, o primeiro **Centro de Informações Nucleares (CIN)** sul-americano, nos moldes do **International Nuclear Information System (INIS)** da **Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)**.

3.2.1.3 PESSOAL EM ATIVIDADE

Em 1972 a **CNEN** contava em seus quadros com cerca de 2.200 servidores, com perto de 500 possuidores de formação de nível superior, 30% dos quais pós-graduados, nos níveis de mestrado e doutorado.

Com a passagem do **IEN**, **IPR** e **IRD**, para a **CBTN**, grande parte desse pessoal foi transferido para esse órgão.

3.2.1.4 RECURSOS FINANCEIROS

Os recursos para o ano de 1972 atingiram 116 milhões de cruzeiros, sem considerarmos os destinados a usina de **ANGRA DOS REIS**.

Em 1974 atingirão cerca de 199 milhões [20].

3.2.1.5 ENTIDADES QUE MANTÊM CONVÊNIO COM A CNEN

— Instituto de Pesquisas Tecnológicas (S. Paulo)

- Instituto de Pesquisas da Marinha (Rio)
- Instituto Nacional de Tecnologia (Rio)
- Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Rio)
- Instituto Tecnológico da Aeronáutica (S.José dos Campos)
- Instituto de Eletrotécnica (S.Paulo)
- Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Rio)
- Universidade Católica (Rio)
- Instituto de Biofísica (Rio)
- Instituto Militar de Engenharia (Rio)
- Centro de Medicina Nuclear (S.Paulo)
- Instituto de Biologia Marinha (S.Paulo)
- Universidade Federal (Rio Grande do Sul)
- Instituto de Pesquisas Biofísicas (Rio Grande do Sul)
- Centro de Energia Nuclear (Recife)

3.2.1.6 ANTIGOS PROJETOS DA CNEN

Os antigos programas plurianuais previam:

- Construção de um reator plutonífero de 40 MW a água pesada-Urânio Natural. Abandonado.
- Projeto e construção pela indústria nacional, de um reator de teste de materiais. Esse projeto chegou a ser aprovado pelo MME, com recursos do FUNTEC, porém foi arquivado em 1970.
- Projeto e construção de instalações de reprocessamento. Não foi iniciado.

3.2.1.7 O GRUPO DO TÓRIO

Foi criado em 1965, no IPR, chegou a ter 19 engenheiros e obteve colaboração francesa. Até 1967 esteve empenhado no projeto **INSTINTO**, um estudo de viabilidade para um reator de potência plutônio-tório-água pesada (**PLUTO**).

A seguir iniciou o projeto **TORUNA** de um reator semelhante ao anterior, porém, a urânio natural-água pesada.

O plutônio produzido seria usado no reator **PLUTO**. Em 1969 foi iniciada a montagem subcrítica **CAPITU**, passo necessário, antes da construção do protótipo.

O programa plurianual 1969/71 da **CNEN** previa 35 milhões de cruzeiros, porém só foram concedidos 400.000. Com esta medida tornou-se impossível o prosseguimento dos trabalhos, o pessoal do grupo se dispersou e está trabalhando em outros setores, dentro ou fora da **CNEN**.

O relatório **LANE**, [21], procurou desaconselhar os estudos do reator protótipo brasileiro indicando a compra da primeira central, e os trabalhos dos três institutos dentro da linha do reator adquirido. Dizia também que o ciclo do Tório seria para daqui a 30 ou 50 anos.

3.2.2 COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR (CBTN)

É uma companhia de economia mista, com as seguintes atribuições básicas [22]:

- realizar a lavra de jazidas de minérios nucleares e associados.
- promover o desenvolvimento da tecnologia nuclear.
- montar instalações de enriquecimento de urânio.
- montar instalações de reprocessamento do combustível irradiado.
- construir e operar instalações de tratamento de minérios nucleares e seus associados.
- promover a gradual assimilação da tecnologia nuclear pela indústria privada nacional.

Através dos Institutos a ela incorporados e contando com a cooperação do Instituto de Energia Atômica de São Paulo (**IEA**), a **CBTN** está executando o Projeto Elemento Combustível, que permitirá, a médio prazo, a assimilação de tecnologia e a formação de equipes que poderão projetar e operar uma usina para fabricação de elementos combustíveis para reatores a água leve. Além disso, a **CBTN** desenvolve um programa de capacitação técnica dos seus Institutos, mediante a instalação de laboratórios e a formação de equipes especializadas, o que possibilitará o estabelecimento de normas e especificações para a execução do controle de qualidade em materiais e equipamentos utilizados na indústria de reatores nucleares.

A **CBTN** ~~acompanha~~ acompanha, também, o desenvolvimento da tecnologia dos reatores que ocorre no exterior, através a elaboração do projeto e a construção de pequenas instalações, como circuitos térmicos e montagens críticas ou subcríticas, que permitem a medida experimental de parâmetros físicos e termo-hidráulicos [1].

3.2.2.1 CENTROS INDUSTRIAIS E DE PESQUISA DA CBTN

- INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR (IEN)

Está localizado no "campus" da Universidade Federal do Rio de Janeiro, numa área de 95.000 m² e tem um efetivo aproximado de 400 pessoas.

Seu principal objetivo se focaliza na área de reatores rápidos, visando estabelecer no país a tecnologia do Plutônio, promover a participação da indústria nacional e assegurar o uso econômico e racional do urânio disponível. Dispõe de um reator de pesquisas de 10 KW, tipo Argonauta, e o primeiro circuito térmico experimental, a sódio, da América do Sul.

Embora aprovado pelo PBDCT, o **PLANO NACIONAL DE REATORES RÁPIDOS (PNRR)**, elaborado durante 3 anos no **IEN**, parece que não será executado.

- INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA (IEA)

É uma autarquia associada a Universidade de S. Paulo, integrada no programa de desenvolvimento da energia nuclear mediante convênio com a **CBTN**. Conta com cerca de 900 pessoas e dispõe do maior reator de pesquisas do **BRASIL**, de 5 MW, tipo piscina, em fase de ampliação para 10MW.

Merecem destaque as seguintes realizações do **IEA**:

Instalação das primeiras usinas-piloto brasileiras de:

- produção de tetra-fluoreto de urânio (UF₄);
- produção de micro-esferas de óxido de urânio (UO₂) e de pastilhas de UO₂ cerâmico;
- purificação de urânio.

O **IEA** realiza, também, estudos a respeito dos reatores de alta temperatura, além de outros trabalhos técnico-científicos em diversas áreas de aplicação das Ciências Nucleares [22].

- INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS (IPR)

Ocupa uma área de 15.000 m² e dispõe de cerca de 300 pessoas e 1 reator de pesquisas, tipo piscina, TRIGA, de 100 KW, em ampliação para 250 KW.

Possui duas montagens sub-críticas URANIE (urânio metálico, água leve) e CAPITU (água pesada, urânio natural) e um circuito térmico experimental.

Além disso, estuda os reatores a água leve e pesada possuindo, ainda, muitos laboratórios nas diversas especialidades nucleares.

- CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA (CENA)

É um órgão da Universidade de S.Paulo, anexo a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em Piracicaba. Trabalha com a CNEN mediante convênio.

Desenvolve estudos de bioquímica, nutrição vegetal, fertilidade dos solos, genética, etc. Realiza, atividades de ensino, de todos os níveis.

- USINA SANTO AMARO (USAM), antiga Administração de Produção da Monazita (APM), em S.Paulo.

Trabalha as areias monazíticas, separando fisicamente seus componentes:

MONAZITA	(terras raras, tório, urânio)
ILMENITA	(titânio)
RUTILO	(titânio)
ZIRCONITA	(zircônio)

Processa a monazita, obtendo, cloreto de terras raras, compostos de tório e pequena quantidade de urânio.

Nova fábrica está em cogitações atualmente.

- INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA (IRD)

O objetivo básico do IRD é a assimilação e o desenvolvimento de diferentes tecnologias ligadas a proteção do homem aos perigos de radiação.

O estudo detalhado e a aplicação das técnicas de uso consagrado internacionalmente permitirão que nos próximos 3 anos se inicie um desenvolvimento de "KNOW-HOW" próprio às condições brasileiras.

As atividades desenvolvidas são:

- Proteção radiológica;
- Calibração da aparelhagem de medida e monitoração;
- Metrologia de Radioisótopos.

Seus trabalhos se estendem por todo o território nacional, oferecendo apoio e serviços técnicos em todos os lugares onde se trabalha com radiações, na Indústria, medicina, etc [23].

3.2.2.2 RECURSOS FINANCEIROS

A CBTN é uma empresa de economia mista, onde 51% das ações pertence a CNEN, já tendo sido adquirido pelo capital privado e estatal uma parcela das ações restantes.

A partir de 1972, a União destinará à CNEN 0,5% dos dividendos que lhe couberem na Petrobrás e Eletrobrás, para serem utilizados no desenvolvimento da tecnologia nuclear, na CBTN [22].

O Orçamento-Programa para 1974 da CNEN prevê:

	RECURSOS ORÇAMENTÁRIOS E VINCULADOS (Cr\$ 1.000)	RECURSOS PROVENIENTES DO ART 15 DA LEI 5740 (Cr\$ 1.000)
CBTN	5.156	73.300
IEA	1.231	"
CENA	2.179	"
CNEN	117.018	
TOTAL	125.909	73.300

3.3 USINA NUCLEAR DE ANGRA DOS REIS (ITAORNA)

3.3.1 HISTÓRICO DA USINA

A primeira idéia de construção de uma usina nuclear no **BRASIL** ocorreu em 1956, quando o **GRUPO AMFORP (AMERICAN AND FOREIGN POWER)** antigo "**HOLDING**" norte-americano, que controlava diversas empresas brasileiras de eletricidade, hoje nacionalizadas, projetou criar em **CABO FRIO** uma usina de pequeno porte (10 MW). O projeto foi abandonado como anti-econômico.

Em 1956 a **COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN)** iniciou os estudos para a construção de uma usina nuclear de 150/200 MW, em **MAMBUCA-BA (Est. do Rio)**.

Em 1959 foram realizados estudos mais aprofundados. Todavia, as condições pouco favoráveis do local e a conjuntura econômica do país na época, fizeram com que o projeto fosse abandonado.

A seguir, a **CNEN** passou a estudar um projeto de 300 MW, que também em nada de concreto resultou.

Finalmente, em 1967, o Governo Federal deu os passos decisivos para a construção de uma usina nuclear de potência, integrada no plano de expansão do parque gerador nacional, atribuindo a **ELETROBRÁS** a responsabilidade de construção e operação das usinas nucleares de potência, a serem executadas pelo Governo Federal.

3.3.2 PROJETO EM ANDAMENTO

A usina projetada inicialmente para 500 MW, atenderia ao duplo objetivo de complementar as necessidades de energia e criar no país as condições iniciais para o desenvolvimento da experiência técnica no campo da geração de energia elétrica via nuclear.

A **ELETROBRÁS** delegou atribuições para a construção dessa primeira usina nuclear a **FURNAS S.A.**, sua principal subsidiária na região centro-sul.

3.3.2.1 TRABALHOS PREPARATÓRIOS

Consistiram em:

- escolha do local;
- seleção dos tipos de reator;
- seleção dos fabricantes a serem convidados para a concorrência;
- elaboração das especificações para a concorrência.

3.3.2.2 LOCAL

Foi escolhida a Praia de ITAORNA, no município de ANGRA DOS REIS, região escassamente povoada, em forma de anfiteatro com 500m de frente e 400m de fundo, e que oferece as condições técnicas e de segurança necessárias. O local permite expansão futura para mais 2 ou 3 reatores.

3.3.2.3 TIPO DE REATOR

Foi escolhido o reator PWR, de água leve pressurizada e urânio enriquecido, comprado nos ESTADOS UNIDOS (WESTINGHOUSE). Tal compra encerra toda a vulnerabilidade estratégica dos produtos importados [2].

3.3.2.4 CRONOGRAMA

Os trabalhos foram iniciados em 1969 e deverão terminar em 1977.

3.3.2.5 REABASTECIMENTO DA USINA

Será feito normalmente 1 vez por ano, substituindo-se de 1/3 a 1/4 dos elementos combustíveis, processo que exige a parada do reator por um período de 3 a 5 semanas.

O peso total do dióxido de urânio para a fabricação dos elementos combustíveis será de 50 ton.

O enriquecimento do urânio será de 4%, em Urânio-235.

3.3.2.6 ESTADO ATUAL DOS TRABALHOS

Em abril de 1974 foi erguida a blindagem de concreto do reator e iniciada a solda das chapas do vaso de pressão, que conterà o reator propriamente dito.

No início de maio começaram a chegar por mar os equipamentos pesados de troca de calor.

Muita tecnologia está sendo transferida para empresas brasileiras, no que diz respeito as obras civis e montagem de equipamentos.

3.3.2.7 CUSTO TOTAL DO PROJETO

Será de Cr\$ 1.820.400.000,00.

Na construção do edifício do reator serão utilizados 19.123 m³ de concreto e 2.160 ton de aço.

3.3.2.8 PESSOAL UTILIZADO

Trabalham no local, no momento, 3.200 homens, número esse que se elevará a 4.000 em 1975. Na sede trabalham 200 pessoas.

Algumas centenas de funcionários de Furnas, ligadas ao projeto, já receberam treinamento no exterior e no **BRASIL** foram treinados mais de 50.

Em AGO, seguirá para os Estados Unidos uma turma que irá se aperfeiçoar nos centros de treinamento da WESTINGHOUSE, durante 1 ano.

Está sendo construída, a 1,5 Km da usina, um vila residencial com 552 casas, dotada de todas as facilidades necessárias.

3.4 ENERGIA NUCLEAR EM INSTITUIÇÕES MILITARES

Veremos agora alguns aspectos das atividades nucleares no âmbito das Forças Armadas.

3.4.1 EXERCITO

Desde 1958 cuida da formação de engenheiros nucleares em nível de pós-graduação. Não foi ativado ainda o centro de pesquisas tecnológicas, porém estão em andamento pesquisas no IME.

3.4.1.1 DIRETORIA DE PESQUISA E ENSINO TÉCNICO (DPET)

O setor de ENERGIA NUCLEAR da DPET organizou um plano de pesquisas trienal, a ser executado no IME e IPD, constando dos seguintes grupos de pesquisa [24]:

- Água Pesada (aprovado no PBDCT)
- Irradiação de alimentos (aprovado no PBDCT)
- Defesa Passiva Nuclear
- Materiais Físseis
- Radioisótopos
- Reatores
- Materiais Nucleares
- Plasma.

3.4.1.2 INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Além dos trabalhos normais de ensino e pesquisa científica, executa no momento, os dois programas prioritários abaixo; com verbas da CNEN.

- PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Este programa é de grande importância nacional, tendo em vista que a perda de produtos agrícolas é enorme. Atinge cerca de 15% da produção de feijão e 17% de milho, sendo o BRASIL um dos maiores produtores mundiais desses alimentos.

Os bons resultados obtidos vem estimulando a ampliação e diversificação dos estudos.

O programa de Irradiação de Alimentos foi criado em 24 de MAR de 1969 e, para trabalho inicial, foram escolhidos: feijão, arroz, cebola, batata, trigo e sub-produtos,

milho e seus sub-produtos, pelas seguintes razões:

- numa dieta média diária normal eles entram com 50% da massa;
- as produções e seus valores justificam qualquer investimento para sua preservação;
- dados oficiais situam as perdas destes alimentos em 30%;
- cada 1% dessa perda, que seja evitada, dá de economia para os cofres brasileiros uma soma de Cr\$ 45.000.000,00, aproximadamente.

Com os animadores resultados colhidos foi possível, agora, passar o grupo ao estudo da irradiação das rações militares de combate, tendo em vista aumentar de muito seu tempo de duração.

- ÁGUA PESADA

O Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento da Água Pesada foi nomeado em 10 JAN 64 pelo Exmo Sr Ministro do Exército.

Em 10 anos de atividades foram realizados:

- desenvolvimento de técnicas de análise de água pesada;
- projeto e desenvolvimento experimental do processo de eletrólise;
- projeto do processo de destilação;
- projeto e otimização do processo H_2S ;
- ante-projeto do processo das aminas;
- estágio nas instalações de água pesada do CANADÁ, ESTADOS UNIDOS, ISRAEL e ÍNDIA.

Encontra-se pronto o projeto conceitual da usina piloto de água pesada, para 2 a 3 ton/a.

Durante os 10 anos de sua existência, o grupo lutou com sérias dificuldades de pessoal, espaço e verbas.

Em 1974, foi obtida uma pequena ampliação dos seus efetivos e um aumento de verbas (Cr\$ 1.000.000) correspondendo ao dobro do total obtido durante 10 anos de funcionamento. Tal verba representa apenas 3% do custo total da usina em 5 anos de construção.

Acha-se em andamento a escolha do local para a instalação da usina e já foram feitos os contatos iniciais com as firmas de construção e instalação dos equipamentos.

Durante o corrente ano, segundo o Programa de Trabalho da CNEN para 1974, devem ser intensificados os trabalhos relativos a produção de água pesada, objetivando sua industrialização [20].

Executa, também, o IME diversas pesquisas científicas e tecnológicas entre as quais avultam:

- Projeto e construção de um reator nuclear sub-crítico (Sublúme), em fase de construção;
- Projeto, montagem e operação de um acelerador linear de elétrons, em fase de testes;
- Projeto e construção de detetores de radiação baixa energia, em fase experimental.

3.4.1.3 INSTITUTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO (IPD)

Embora, segundo as **POLITICAS SETORIAIS DO M.Ex.**, devesse funcionar no centro de técnicas nucleares, no âmbito do IPD, até agora não foi possível efetivá-lo.

3.4.2 MARINHA

De enorme importância são os reatores na propulsão naval. São reatores compactos e que permitam grande autonomia as belonaves.

3.4.2.1 INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA

Não foi possível obter dados a respeito.

3.4.3 AERONÁUTICA

Temos notícias de que já existem protótipos de avião nuclear e, sem dúvida, foguetes de propulsão nuclear, nos países nucleares.

3.4.3.1 INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA AERONAUTICA (ITA)

Pesquisa atualmente o reator de Fusão nuclear de 40.000 MW, o que corresponde a 2,5 vezes a atual potência instalada no BRASIL.

Segundo o professor J.P. SUDANO, dispomos de tecnologia para fabricar até 1980, esse tipo de reator que, produzindo 13 vezes mais energia que Ilha Solteira, terá um custo 9 vezes menor.

O REATOR DE FUSÃO

Está sendo estudado no ITA desde 1971 e utiliza como combustível DEUTÉRIO e TRÍTIO.

O projeto tem potência 4 vezes superior ao que está sendo estudado nos Estados Unidos e custará da ordem de 100 milhões de dólares. Poderá gerar 65 vezes mais energia que o reator de ITAORNA.

3.5 FORMAÇÃO E TREINAMENTO DE PESSOAL

Mediante a celebração de convênios com instituições universitárias em todo o País, dezenas de cursos em ciência e tecnologia são ministrados, desde o nível de técnico até o de pós-graduação nas áreas prioritárias para o desenvolvimento da energia nuclear.

Especialistas brasileiros que tenham esgotado as possibilidades de pós-graduação existentes no País, caso haja conveniência para os projetos prioritários, são enviados ao exterior para complementar seus conhecimentos técnicos.

O contínuo aperfeiçoamento dos especialistas é obtido pela promoção de estágios e visitas técnicas, além do incentivo ao comparecimento a conferências, congressos, seminários e simpósios no Brasil e no exterior [1].

3.5.1 SIMPÓSIO DE ENERGIA NUCLEAR [25]

Em 1970, uma análise detalhada a respeito da formação de técnicos nucleares, inclusive em contatos com integrantes da CNEN, pareceu indicar ser válida a conclusão de

que, se por um lado a formação Pós Graduada está a se impor, através de alta especialização, como fator decisivo para o desenvolvimento das técnicas nucleares, por outro lado, não se deveria dispensar a antiga formação, cuja natureza extensiva continua sendo de grande utilidade em todos os centros de atividades nucleares.

Assim, o Instituto Militar de Engenharia promoveu reuniões de membros representativos de várias entidades interessada no assunto, no simpósio de Energia Nuclear, terminado o qual foram feitas diversas recomendações; entre as quais ressaltamos:

COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO [25]

- A formação do Engenheiro Nuclear, nas condições atuais brasileiras, deve ser em princípio, efetuada em cursos de pós-graduação.
- Os currículos de Engenharia Nuclear deverão, em princípio, conter, pelo menos, 2 a 3 disciplinas de laboratório.
- Observando que não existe suficiente ênfase sobre cursos de térmica, clássicos ou aplicados, recomenda-se o desenvolvimento de cursos atualizados nessa área.

Obs: A grande maioria dos cursos existentes no País é de Pós-Graduação.

COMISSÃO DE GRADUAÇÃO [25]

- Para a preparação de profissionais que se destinem à pós-graduação em ciências e técnicas nucleares, os cursos de graduação devem tomar especial cuidado na formação sólida das disciplinas básicas e da utilização de técnicas modernas.
- A atual experiência vigente na UFRGS, de cursos de graduação de dupla especialização (uma convencional, outra nuclear) deve limitar-se aquela Universidade, até que se tenham resultados apreciáveis quanto à sua conveniência.

COMISSÃO DE QUALIFICAÇÕES E ATRIBUIÇÕES DOS ENGENHEIROS NUCLEARES [25]

- Dirigir centrais nucleares e instalações de processamento e reprocessamento

de materiais nucleares.

- Fiscalizar instalações que utilizem materiais nucleares.
- Planejar a integração de centrais nucleares em sistemas elétricos.
- Preparar especificações, avaliar propostas e acompanhar a execução de projetos de reatores nucleares, instrumentos, equipamentos e instalações utilizados no campo das instalações nucleares.
- Estabelecer critérios de projetos, dirigir e acompanhar a construção de reatores nucleares, instrumentos, equipamentos e instalações, utilizados no campo das aplicações nucleares.
- Responsabilizar-se pela segurança e rádio-proteção interna e externa de reatores e instalações nucleares e no transpote de materiais radioativos.

3.5.2 TREINAMENTO NO PAÍS

Nos últimos anos a **CNEN** distribuiu grande número de bolsas para formação, aperfeiçoamento e treinamento no Brasil, desde o nível técnico até o de pós-graduação, como mostra o quadro abaixo:

	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Bolsas no País	185	480	597	778	1002	557

3.5.2.1 INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

O programa de pós-graduação em Engenharia Nuclear do **IME** está estruturado para dar aos alunos formação básica sólida, a par de uma formação tecnológica ampla, com vistas a permitir sua adaptação fácil aos desenvolvimentos das técnicas nucleares, bem como sua preparação para níveis mais avançados da formação científica, no País ou no exterior [26].

O Instituto Militar de Engenharia, desde 1958, vinha cooperando na formação de Engenheiros Nucleares para o País, em Convênio com a Comissão Nacional de Energia

Nuclear, tendo diplomado, até a presente data, 88 Engenheiros assim discriminados:

44 oficiais do Exército

39 civis

2 oficiais da Aeronáutica

2 oficiais do Exército Argentino

1 oficial do Exército Chileno.

Com o início do Programa de Pós-Graduação em 1969, cessaram as atividades do Curso de Engenharia Nuclear, deixando, portanto, o IME de cooperar numa formação especializada de que o País está a carecer.

Até 1973, obtiveram o grau de Mestre em Ciências Nucleares:

3 militares (1 da Aeronáutica)

16 civis.

Terminaram o chamado "Mestrado Especial", com vista ao doutorado no estrangeiro:

12 civis.

Atualmente existem apenas 15 engenheiros militares de ativa, dos quais 12 na área da DPET.

As projeções futuras são sombrias, pois, dentro dos 2 próximos anos, 5 dos atuais engenheiros nucleares estarão em condições de serem transferidos para a reserva e, somente, 2 oficiais fazem o curso no IME.

3.5.2.2 COPPE [27]

O Programa Nuclear conta, além dos seus docentes, com a colaboração de pesquisadores do Instituto de Engenharia Nuclear, professores do Instituto de Matemática e do Instituto de Física da UFRJ. O Programa de Engenharia Nuclear oferece o grau de Mestre em Ciências nas seguintes áreas:

- Física de Reatores
- Engenharia de Reatores

- Química Nuclear e Radio-Química
- Aplicação de Radioisótopos.

3.5.2.3 S.PAULO

Em 1968 foram lançadas as bases dos cursos de pós-graduação em nível de mestrado, em convênio com a Universidade de S.Paulo. Já em 1969, registrou o IEA 4 mestrados e 1 doutoramento.

Em 1970 foram 26 mestres e 4 doutores, mantendo-se o ritmo dos trabalhos nos últimos anos.

Mais importante que o número de formados é a qualidade do ensino e das teses [25].

3.5.2.4 MINAS

Em 1957 foi criado o Curso de Pós-Graduação de Engenharia Nuclear do IPR, em Belo Horizonte, ficando restrito a pós-graduação até 1962, quando foi facilitado o acesso a estudantes de engenharia às disciplinas de caráter formativo e científico, ficando reduzida a pós-graduação a um ano.

Com a implantação do mestrado, deixa de existir o Centro de Energia Nuclear. Sete teses foram defendidas em 1969 e trinta em 1971 a 1972.

Para os anos seguintes espera-se de 15 a 20 teses [25].

3.5.2.5 PERNAMBUCO

Durante o ano de 1974, no Centro de Energia Nuclear de Pernambuco será desenvolvido um programa de análise de solos, águas e vegetais, inclusive sedimentos da plataforma continental pernambucana, no que diz respeito a materiais de interesse nuclear [20].

3.3.3 TREINAMENTO NO EXTERIOR

A atenção que o setor vem merecendo da CNEN pode ser constatada pelo quadro abaixo [1].

	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Bolsas no exterior	53	60	68	94	86	77
Viagens de estudos ao exterior	48	39	60	78	84	46

3.3.6 PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO

O Brasil tem apresentado nos últimos anos taxas anuais de crescimento econômico das maiores do mundo, superiores a 9%. Em virtude desse crescimento, a demanda de Energia Elétrica vem se expandindo a cerca de 12% ao ano.

Embora sejamos um País privilegiado com os nossos 150.000 MW de potencial hidrelétrico, um dos maiores do mundo, não podemos prescindir da suplementação térmica (convencional ou nuclear) como, aliás, nenhum outro país, quer para compensação das variações estacionais do regime hidráulico dos rios, quer por outros motivos de ordem técnica [28].

Na região centro sul, que consome da ordem de 80% da energia gerada, as disponibilidades hidráulicas tenderão para utilização plena, a partir do fim da década de 80.

Tendo em vista as outras dificuldades nacionais na transmissão de energia elétrica a grandes distâncias, o que torna problemática a transmissão de energia que pode ser gerada na bacia amazônica, para o centro-sul, torna-se necessária uma participação crescente de centrais térmicas no sistema.

A recente evolução dos preços do petróleo no exterior, aliada às reservas limitadas de carvão e petróleo, de que o Brasil dispõe atualmente, torna competitiva a utilização preponderante de centrais nucleares para a necessária complementação das disponibilidades energéticas, principalmente na região centro-sul. Haverá, assim, demanda para um número crescente de usinas nucleares, cuja dimensão e localização dependerá, na ocasião, do contexto termo-hidráulico de cada região [28].

Os maiores custos para a implantação de usinas nucleares, em relação às termicas convencionais, são contrabalançados pela possibilidade de instalação ^{as} dos primeiros ^{as}, próximo aos grandes centros consumidores, independentemente de linhas de transmissão onerosas e não estando condicionados a importação e transporte de grandes quantidades de combustível, óleo ou carvão.

O Ministério de Minas e Energia e a **CNEN** têm realizado diversos estudos e análises técnico-econômicas no sentido de definir um programa nuclear para o País, em todos os campos de uso pacífico da Energia Nuclear, com particular ênfase ao atendimento da futura demanda de Energia Elétrica [29].

Segundo o Relatório do Grupo de Trabalho de Reatores de Potência do **IME** [30], de 1970, a implantação da central nuclear de Angra dos Reis pode ser justificada por parâmetros técnico-econômicos. Paralelamente a necessidade de complementação do sistema hidráulico da região centro-sul, alinhou, como reforço a decisão:

- absorção por parte da tecnologia nacional de novas e refinadas técnicas que gravitam em torno de um reator nuclear;
- participação da indústria nacional nesta nova tecnologia, de especificações mais exigentes;
- aquisição de experiência operacional por técnicos nacionais.

Por outro lado, o referido relatório concluía que, em 1970, o Brasil possuía uma estrutura de pesquisas nucleares deficiente, principalmente nos seguintes pontos:

- arregimentação de pessoal habilitado, em consequência de uma política salarial deficiente;
- programas básicos muito sensíveis às mudanças de direção da **CNEN**.

Propos, também, que a pequena reserva de urânio até então acumulada e a que se viesse juntar, com a exploração das jazidas de morro do Agostinho e Cercado, etc, não deve sob nenhuma hipótese ser empenhada em arranjos de pesquisas já comprometidas com salvaguardas. Neste caso, o urânio natural a ser empregado deveria ser adquirido no exterior. A tese de economia de divisas não é significativa no caso.

Se o Brasil tivesse optado por um programa energético de auto suficiência,

certamente te-lo-ia iniciado por reatores a Água Pesada — urânio natural. Se a esse programa fosse dada a diretiva nacional de auto-suficiência, ele poderia se desenvolver sem qualquer restrição de salvaguarda e permitiria uma abertura para um programa de produção de armas nucleares [2].

Todos os países que desenvolvem programas energéticos estratégicos a curto e médio prazos mantêm, também, programas de prazo médio a longo, para tecnologias mais avançadas. O Brasil estaria dentro dos critérios decisórios desses países ao se decidir por um programa de reatores rápidos que tem a vantagem de permitir a utilização do Tório nacional para a conversão em urânio [2].

3.6.1 PREVISÕES PARA A INSTALAÇÃO DE CENTRAIS NUCLEARES NO BRASIL

Um relatório elaborado em 1968 por uma missão da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), em conjunto com técnicos da CNEN e ELETROBRÁS, estima que, mantida a atual conjuntura de recursos energéticos brasileiros, a potência em instalações nucleares, necessária à complementação dos sistemas elétricos nacionais poderia atingir [7]:

Ano	Capacidade Instalada Total
1976/77	500 MW
1980	1.500 MW
1985	6.000 MW
1990	13.000 MW
1995	21.000 MW
2000	35.000 MW

Segundo a CBTN [14] 45% da capacidade total instalada no fim do século será de origem nuclear. (*Programa de Referência*)

A previsão para as instalações nucleares é [14]:

DÉCADA	ACRÉSCIMOS	CAPACIDADE TOTAL
	MW	MW
1970/1980	630	630
1980/1990	11.370	12.000
1990/2000	63.000	75.000

Para atender a esse programa, a **CBTN** levou em consideração como estratégia de referência, a utilização de reatores térmicos do tipo LWR e a introdução de reatores rápidos (FBR) de 1990 em diante, conjuntamente com os reatores térmicos. Poderão, também, serem introduzidos reatores avançados em paralelo com os LWR [14].

3.6.2 CUSTOS DO PROGRAMA NUCLEAR ATÉ O ANO 2000

Segundo a **CBTN** [14], a previsão de custos é:

- Ciclo de Combustível
 - Em 1980: 6 milhões de dólares anuais
 - Em 2000: 750 milhões de dólares anuais
- Componentes de Reatores
 - Em 1985: 75 milhões de dólares anuais
 - Em 2000: 750 milhões de dólares anuais
- Turbinas e Geradores
 - Em 1985: 70 milhões de dólares anuais
 - Em 2000: 700 milhões de dólares anuais

3.6.2.1 CUSTOS TOTAIS

Deverão ser gastos 800 milhões de dólares anualmente durante o período 1985/90, na construção de centrais nucleares e no suprimento de combustível nuclear.

Pelo fim do século, os gastos totais acumulados subirão a 33 bilhões de dólares [14].

IV- POSSIBILIDADES TÉCNICAS NACIONAIS

Chegou agora a vez de nos preocuparmos com o potencial de nossa indústria e nossos recursos naturais, na realização próxima de um grande programa nuclear.

4.1 PROSPECÇÃO DE MINÉRIOS NUCLEARES

É programada, coordenada, supervisionada e fiscalizada pela CNEN, cabendo sua execução a **COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM)**.

A prospecção do urânio compreende diversas fases que vão desde a seleção de áreas de prováveis ocorrências, até os estudos de tratamento e de viabilidade econômica dos minerais.

Com a criação da CPRM em 1969 e com recursos oriundos da cota de 1% do IMPOSTO ÚNICO sobre LUBRIFICANTES E COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS E GASOSOS (IULCLG) destinada a CNEN, foi possível uma ampliação substancial na prospecção dos minérios nucleares. Os recursos empregados cresceram então de 6 para 23,3 milhões de cruzeiros. Em 1973 atingiram 59,6 milhões e para este ano as estimativas se situam em torno de 70 milhões [31].

Em 1972 a AIEA prestou assistência técnica na prospecção do urânio no Brasil, Camarões, Colômbia, Egito, Grécia, México, Marrocos, Paquistão, Perú e Turquia [6].

4.1.1 FASES DA PROSPECÇÃO

O estudo detalhado e metódico abrange:

4.1.1.1 RECONHECIMENTO RÁDIO-GEOLÓGICO

Consiste no exame preliminar de grandes áreas geologicamente favoráveis para permitir a seleção de áreas mais restritas, a serem estudadas com maiores detalhes.

De 1971 a 1973 foram realizados 1.000.000 de quilômetros quadrados de reconhecimento rádio-geológico, abrangendo a maior parte das áreas geologicamente favo-

ráveis do território nacional.

4.1.1.2 PROSPECÇÃO AÉREA

Consiste na detecção da radioatividade emanada do solo, através de aparelhos sensíveis a radiação gama instalados a bordo de aeronaves.

De 1951 a 1973 foram voados 579.550 quilômetros cobrindo cerca de 460.000 quilômetros quadrados e assim permitindo a delimitação de áreas para os trabalhos de campo.

4.1.1.3 AVALIAÇÃO DE INDÍCIOS

Comprovada a existência de indícios uraníferos nas rochas examinadas, passa-se a sua avaliação qualitativa através da aplicação simultânea de vários métodos.

4.1.1.4 SONDAGEM E PERFILAGEM

Selecionadas as áreas promissoras, torna-se indispensável a utilização dos métodos de sondagem e perfilagem, para a verificação do valor econômico de uma ocorrência e a avaliação de reservas.

4.1.1.5 TRABALHOS SUBTERRÂNEOS

A determinação do teor, extensão e espessura dos depósitos e os testes de tratamento do minério permitirão finalmente definir a existência de um depósito economicamente explorável [31].

4.1.2 OCORRÊNCIAS BRASILEIRAS DE URÂNIO

Já foram catalogadas em nosso território milhares de ocorrências de urânio. Raramente, entretanto, uma ocorrência corresponde a um depósito economicamente explorável.

4.1.3 RESERVAS BRASILEIRAS DE URÂNIO

De acordo com o conceito adotado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) são consideradas depósitos de urânio apenas 2 tipos de concentrações desse metal:

- A - Depósitos que permitam a produção de urânio a um custo inferior a Cr\$ 143 o quilo de U_3O_8 (US\$ 10/lb)
- B - Depósitos que permitam a produção de urânio a um custo entre Cr\$ 143 e Cr\$ 215 o quilo de U_3O_8 (US\$ 10 a 15/lb).

Os demais depósitos não entrariam no computo das reservas mundiais. Muito em breve, porém, tal critério poderá ser alterado, tendo em vista a tendência da rápida elevação do preço internacional desse metal, em consequência do grande aumento da procura, acelerado pela recente e brutal elevação dos preços do petróleo [31].

Até agora foram definidos:

- DEPÓSITO DO TIPO A (urânio até Cr\$ 143/Kg)
POÇOS DE CALDAS (CERCADO) MG
Reserva medida 2.840 ton
Reserva estimada 3.000 ton
- DEPÓSITO DO TIPO B (urânio de Cr\$ 143/Kg a Cr\$ 215/Kg)
POÇOS DE CALDAS (CAMPO DO AGOSTINHO) MG
Reserva medida, 1.100 ton
Reserva estimada 2.100 ton
- DEPÓSITO ATUALMENTE EM ESTUDO
FIGUEIRA - PR

Teor de 0,15% de U_3O_8 ,	reserva estimada	2.000 ton
Teor de 0,04% de U_3O_8 ,	reserva estimada	4.000 ton
	Total medido	3.940 ton
	Total estimado	11.100 ton

4.1.4 FONTES POTENCIAIS DE URÂNIO NO BRASIL

Seu aproveitamento depende da evolução dos preços do urânio e dos materiais associados aos diferentes tipos de minério.

ARAXÁ-MG

Teor de 0,01% de U_3O_8 , reserva estimada 20.000 ton

Teor de 0,01% a 0,05% de U_3O_8 , reserva estimada 100.000 ton

OLINDA-PE

Teor de 0,02% de U_3O_8 , reserva estimada 50.000 ton

JACOBINA-BA

Teor de 0,02% de U_3O_8 , reserva estimada -

POÇOS DE CALDAS-MG

Teor de 0,03% de U_3O_8 , reserva estimada 300 ton

Total estimado 70.300 ton

4.1.5 NECESSIDADES BRASILEIRAS EM URÂNIO

A usina de Angra dos Reis consumirá cerca de 90 t anuais de urânio natural, para a obtenção de 17,5 t de urânio enriquecido a 4%, a serem usados nos elementos combustíveis do reator.

A demanda de urânio pode ser estimada em 90.000 ton acumuladas até o fim do século, para atender ao programa de 75.000 MW [29].

Tal demanda só poderá ser atendida pelas reservas nacionais, caso as estimativas feitas se confirmem tanto no que diz respeito a evolução dos preços do urânio, como nas tonelagens estimadas para nossas reservas potenciais.

4.2 PERSPECTIVAS PARA AS INDÚSTRIAS DO CICLO DE COMBUSTÍVEIS

Tendo em vista o programa apresentado pela CBTN [14] (ver pág 58) são as seguintes as necessidades no que diz respeito ao ciclo de combustíveis.

		1980	1985	1990	1995	2000
U ₃ O ₈ (ton acumuladas)		780	2600	14.400	43.700	90.600
Enriquecimento (milhões de unidades de trabalho de separação por ano)		0,06	0,40	2,20	5,00	6,40
Fabricação de elementos combustíveis (ton de Urânio/ano)	LWR	15	100	530	1.210	1.580
	FBR	—	—	—	210	690
Reprocessamento de elementos combustíveis (ton de Urânio/ano)	LWR	15	35	170	530	1.080
	FBR	—	—	—	51	245

O quadro acima indica o interesse econômico no estabelecimento de uma indústria completa do ciclo de combustíveis no país a partir da década dos 80 [14].

4.2.1 INSTALAÇÃO DE FÁBRICAS

Estimativas preliminares indicam para a instalação das primeiras usinas do ciclo de combustíveis [14]

	Capacidade	Data
U ₃ O ₈	200 ton/a	1976
	900 ton/a	1980
Conversão U ₃ O ₈ → UF ₆	2.300 ton/a	1984
Enriquecimento (ultracentrífugas)	1.000 uts/a	1975
Enriquecimento (difusão gasosa)	5.000 uts/a	1978
Elemento Combustível (LWR)	100 ton/a	1980/1
Reprocessamento	300 ton/a	1986/8

Obs: uts — unidade de trabalho de separação

4.2.2 CUSTOS

A distribuição de custos em relação ao ciclo de combustíveis é a seguinte [14]:

Processamento até a obtenção do UF ₆	30%
Enriquecimento	30%
Fabricação dos elementos combustíveis	30%
Reprocessamento do combustível irradiado	10%

Os gastos anuais no ciclo de combustíveis serão da ordem de 6 milhões de dólares em 1980 e 750 milhões no fim do século.

Segundo um trabalho conjunto efetuado pela **CNEN, ELETROBRÁS e AIEA** [32] adotando-se uma curva de demanda energética conservadora, que exigiria a instalação de 35.000 MW até o ano 2000, as necessidades totais de urânio, segundo as diversas estratégias seriam:

HWR + FBR	12.400 ton
HWTC	23.400 ton
HWR	32.600 ton
LWR + FBR	35.800 ton
LWR	71.500 ton

Mostrando as necessidades cerca de 5 vezes maiores para os LWR.

Os contratos de venda assinados pelos Estados Unidos de 1967 a 1972, para entrega de 1973 a 1980, antes da crise do petróleo apresentaram os valores médios, para o urânio natural:

ANO	US\$/lb
1973	7,10
1980	7,80

Os últimos contratos firmados envolvem preços mais elevados [33].

4.3 LEVANTAMENTO DA INDÚSTRIA NACIONAL

Recentemente, foi concluída uma "Análise da Capacidade da Indústria Brasileira para a Fabricação de Componentes Nucleares", trabalho realizado pela Bechtel Overseas, com a participação nacional da CBTN e da Montor S.S., como primeiro passo para avaliar as nossas possibilidades atuais e programar as medidas que se fizerem necessárias, no futuro, para promover a participação crescente da indústria nos projetos nucleares.

Os trabalhos realizados foram os seguintes:

- levantamento técnico (especificações, desenhos, etc.) de 1.464 componentes de uma usina nuclear, típica, de 1000 MW;
- levantamento do instrumental para a fabricação dos componentes;
- levantamento e inspeções das firmas brasileiras potencialmente capazes de fabricar os componentes.

4.3.1 CAPACIDADE DE FABRICAÇÃO DE COMPONENTES

Em síntese nossas perspectivas são expressas pelos quadros que seguem:

RESUMO DOS RESULTADOS DA INSPEÇÃO, POR COMPONENTES

COMPONENTE	NÚMERO DE COMPONENTES				TOTAL
	CAPACIDADE DE 1º ESTÁGIO (1973-1974)	CAPACIDADE ADICIONAL DE 2º ESTÁGIO (1975-1977)	CAPACIDADE ADICIONAL DE 3º ESTÁGIO (1980-1982)	FABRICAÇÃO IMPROVÁVEL EM FUTURO PRÓXIMO	
CLASSE 1 (NUCLEAR)	132	56	34	77	299
CLASSE 2 (QUALIDADE)	258	184	109	95	646
CLASSE 3 (COMERCIAL)	439	18	27	35	519
TOTAL	829	258	170	207	1.464

CONTRIBUIÇÕES EM POTENCIAL DOS FABRICANTES INSPECIONADOS

2M-46.218.223/192

CONTRIBUIÇÃO EM POTENCIAL OU CAPACIDADE DE FABRICAÇÃO		NUMERO DE FABRICANTES		
		CAPACIDADE DE PRIMEIRO ESTÁGIO (1973-1974)	CAPACIDADE DE SEGUNDO ESTÁGIO (1975-1977)	CAPACIDADE DE TERCEIRO ESTÁGIO (1980-1982)
TAMANHO RELATIVO	VALOR EM US\$ 1.000 (NIVEIS DE 1973)			
PEQUENO	0 - 100	40	20	16
SIGNIFICATIVO	100 - 1.000	25	30	31
IMPORTANTE	1.000 - 5.000	12	21	24
MUITO IMPORTANTE	5.000 - 20.000	2	8	8

4.3.2 CONTROLES DE QUALIDADE

São muito mais severos que na indústria não nuclear, para grande número de componentes.

4.4 PRODUTOS NUCLEARES DA USAM

Após a passagem da USAM para a CBTN, isto é, de NOV 72 a MAR 74, a produção acumulada da USAM foi:

U ₃ O ₈	4.271 Kg
ThO ₂	162.544 Kg

V- ENERGIA NUCLEAR EM OUTROS PAÍSES

Veremos agora, de uma maneira global, os programas de centrais de potência, bem como, o desenvolvimento nuclear de alguns países, não pertencentes as 6 grandes potências nucleares.

5.1 DESENVOLVIMENTO NUCLEAR

Segundo o Instituto Internacional de Investigação para a Paz (SIPRI), estariam em condições de desenvolver armas nucleares a curto prazo e a médio prazo, a Índia, Israel, Argentina, Brasil, Paquistão, África do Sul, Espanha, Austrália, Bélgica, Egito, Alemanha Ocidental, Itália, Japão, Holanda e Suíça, nenhum dos quais até 1972 havia ratificado o Tratado de Não Proliferação de Armas Atômicas [34].

A produção de plutônio seria de 13 ton em 1972, 65 em 1977 e umas 130 em 1980, quando uma terça parte desse plutônio estaria em mãos de nações que não dispõem atualmente de armas nucleares.

O plutônio obtido não poderá contudo ser aproveitado na fabricação de armas sem passar, previamente, por um complicado processo de separação e purificação.

Existem usinas capazes de separar o plutônio, além das que pertencem as 6 potências nucleares, na Argentina, Bélgica, Índia, Itália, Espanha e Alemanha Ocidental, enquanto que o Japão está construindo a sua [34].

5.1.1 ARGENTINA

5.1.1.1 SITUAÇÃO EM 1965

A situação da Argentina em 1965, segundo o relatório da comissão da CNEN que a foi visitar [35], era a seguinte:

- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (CNEA)

É uma autarquia diretamente ligada a Presidência da República. Sua Diretoria, órgão orientador e normativo, é constituída por 3 membros militares, um de cada uma das Forças Armadas, e 2 civis.

As reservas do país eram de 25.000 ton de urânio. A fabricação do equipamento de prospecção aero-cintilométrica já era feita localmente, bem como o estudo e interpretação dos resultados.

O Governo Argentino, em decreto nº 485 de MAR de 1965, criou um grupo de trabalho para estudar a viabilidade de um reator de potência com 12 engenheiros, verba e instalações próprias, com a missão de apresentar, num prazo máximo de 2 anos, os estudos técnicos e econômicos para a instalação do 1º reator de potência do País. O urânio usado seria todo argentino.

Entre os objetivos nucleares da Argentina na época destacavam-se:

- levantamento, no mais curto prazo, dos recursos em minerais nucleares do país;
- armazenamento em forma adequada, dos produtos de pureza nuclear, UO_2 e urânio metálico, para formação de estoque básico;
- projeto e construção de um reator a urânio natural, água pesada, no país.

No dizer do Alnte. Quihillalt, então presidente da CNEA, seria assim iniciada uma linha própria e independente no campo da produção de energia, com o propósito de utilizar com a máxima economia os recursos naturais.

Assinalava, também, o Alnte. Quihillalt, que vários contratos de interesse mili-

tar foram assinados com as Forças Armadas Norteamericanas, caracterizados por substancial ajuda financeira.

Conclui o relatório de nossa comissão que, em 1965 foi visitar a CNEA [35], que:

- A República Argentina achava-se, incontestavelmente, em um desenvolvimento nuclear global bastante avançado na América Latina;

- Pesquisava em laboratórios, problemas ainda não abordados no Brasil, como a separação isotópica do urânio, em Calutron;

- Problemas que no Brasil ainda se achavam em fase de laboratório, na Argentina já eram processados em escala piloto, tais como a separação do plutônio, fabricação de água pesada, fabricação e testes de materiais para reatores;

- Problemas nucleares que no Brasil se achavam em escala piloto, na Argentina já se encontravam na fase industrial, como a produção de UO_2 e urânio metálico nuclearmente puros e fabricação de materiais para reatores.

- CENTRO ATÔMICO DE EZEIZA

Nele existia uma instalação para a obtenção do plutônio. A usina piloto para a obtenção de óxido de urânio já havia sido desmontada, uma vez cumprida sua missão [35].

- CENTRO ATÔMICO DE CONSTITUYENTES

Possuía uma usina piloto de fabricação de elementos combustíveis, dispondo de tecnologia avançada, havendo até tipos patenteados pela CNEA. Havia também em 1965, um grupo trabalhando no projeto de um reator de 40 MW a água pesada. O laboratório de metalurgia fabricava elementos combustíveis para todos os reatores de pesquisa argentinos, com urânio enriquecido importado [35].

- INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

Existia um programa de fabricação de água pesada na Terra do Fogo, onde a

Argentina dispõe de enormes reservas de gases naturais, ao lado de rios de água praticamente pura, de origem glacial.

A usina industrial de Córdoba produzia o diuranato de amônio (yellow-cake) e sulfato de cobre, como sub-produto.

A fábrica de Malargue (Mendoza) produzia 100 ton/a de UO_2 nuclearmente puro, a baixo custo [35].

5.1.1.2 SITUAÇÃO EM 1970

O Relatório do Grupo de Trabalho de Reatores de Potência do IME [30], declarava que a Argentina estava realmente empenhada em uma diretriz bem delineada no setor de Energia Nuclear e que, embora se dispusesse apenas de informações genéricas sobre programas e atividades, poder-se-ia concluir o seguinte:

- A Argentina detém consideráveis reservas de urânio natural e algumas jazidas econômicas em exploração, possuindo portanto, material físsil para sustentar seus programas;

- A escolha de sua primeira central núcleo-elétrica de potência foi resultante de estudo bem elaborado, com objetivos definidos, quais sejam: ter uma central que em poucos anos poderá tornar-se independente de qualquer fornecimento externo; para isso trata de instalar, em tempo útil uma usina de água pesada e uma fábrica de combustíveis nucleares, em fase de licitação internacional, de cerca de 200 ton/a e que deverá estar terminada em meados de 1972; ter uma central nuclear semelhante a programada, para ser desenvolvida em seu território;

- Por ocasião da visita do Dr. George Sabato, do Departamento de Metalurgia da Comissão Nacional de Energia Atômica Argentina (CNEA) pode-se saber, através de suas palavras, que a Argentina já estudava a Tecnologia do Plutônio mesmo antes daquela data;

- Embora com estruturas tecnológicas semelhantes, a Argentina leva nítida vantagem sobre o Brasil, em quase todas as linhas de estudos e pesquisas nucleares. Em 1968, a Argentina possuía 120 especialistas em Metalurgia Nuclear, dos quais 40 Mestres em Ciências e 30 Doutores em Filosofia. O Brasil possuía pequeno núcleo de Metalurgia Nuclear no IEA e outro, recém formado, no IEN, reunindo cerca de duas dezenas de

especialistas;

- As instalações de pesquisa argentinas, mesmo as que tem materiais salvaguardados, não excluem o desenvolvimento de tecnologias que conduzam a um estado potencial de aplicações militares parecendo que, neste particular, a Argentina se conduz com maior determinação;

- Em 1970 a Argentina fez a concorrência para a usina industrial de fabricação de elementos combustíveis. Sua conclusão era prevista para 1972.

5.1.1.3 CENTRO DE TESTES NÃO DESTRUTIVOS E CONTROLE DE QUALIDADE

Em 1973 a AIEA [6] declarou que o centro fará testes dos combustíveis que serão usados nos reatores argentinos, incluindo testes de metais, plásticos e ligas. O centro servirá de modelo para os outros Estados Latino-americanos, cujos representantes poderão ser ali treinados.

5.1.2 ÍNDIA

Segundo o SIPRI, é o terceiro país do mundo em adiantamento na tecnologia nuclear. Somente a Índia possui mais Tório que o Brasil [34].

5.1.2.1 ÁGUA PESADA

É usada em todos os reatores de potência da Índia, com exceção dos dois BWR de Tarapur. É usada, também, nos reatores de Pesquisa Cirus (40 MW) e ZERLINA.

A Comissão de Energia Atômica do Ministério de Energia Atômica da Índia, cujo titular atual é o próprio Primeiro Ministro Indira Ghandi, formulou um programa de auto-suficiência, isento de salvaguardas. Assim, em 1962 foi inaugurada a primeira usina de água pesada, de 14 ton/a. Após 10.000 horas de testes na usina piloto de Trombay, foi iniciada a construção de uma usina de 100 ton/a, que deverá entrar em funcionamento no início de 1975. Entrará em funcionamento ainda este ano a fábrica de Baroda, com 67 ton/a. Em Tuticorin nova fábrica, de 71 ton/a, entrará em funcionamento no início de 1975. A 5ª fábrica, em Talcher, foi iniciada em 1973 [36].

A reconcentração da água degradada é feita na usina piloto de Trombay e junto aos reatores.

5.1.2.2 POSSIBILIDADES DE COOPERAÇÃO

O presidente da Comissão de Energia Atômica da Índia concordou, em princípio, em autorizar um estágio de 2 engenheiros brasileiros, durante 2 meses na usina piloto de água pesada de Trombay e na industrial de Rana Pratap Sagar, que, entretanto, até hoje não foi possível concretizar. Nas usinas de reprocessamento, porém, tal cooperação não era possível.

5.1.2.3 O PROBLEMA DAS PATENTES

Na Índia, no setor nuclear, não há problemas de patentes, pois nem indianos nem estrangeiros podem registrar qualquer patente que diga respeito ao campo nuclear, devido ao interesse da segurança nacional.

5.1.2.4 AREIAS MONAZÍTICAS

A Índia produz cerca de 1/3 das necessidades mundiais de Terras Raras e possui as maiores reservas do mundo em areias monazíticas. Possui várias usinas de separação das areias e preparo do zircônio e do titânio. A grande usina que processa a monazita, montada sem assistência externa, tem capacidade de 4.500 ton por ano. O tório e o urânio e seus compostos são obtidos em estado de pureza nuclear e algumas das terras raras já são separadas e purificadas industrialmente, o que significa um estado tecnológico muito mais avançado que o nosso [36].

5.1.2.5 REATORES

A Índia está empenhada em intenso programa de reatores de potência a curto, médio e longo prazo. O centro **BARC** em Trombay possui 4 reatores de pesquisa, inclusive um rápido, inteiramente nacional, e está projetando um de 100 MW, a água pesada. Possui 4 reatores de potência em operação e mais 3 em construção. A energia gerada é vendida às companhias de eletricidade, obtendo-se, assim, abundantes fundos para a pesquisa e desenvolvimento.

O Reator Rápido de Madras, de 40 MW, tem por objetivo principal estudar a aplicação do plutônio e do tório em reatores rápidos e já está em adiantado estado de construção, possuindo grande número de laboratórios e uma usina de reprocessamento anexos. Ali trabalham 800 pessoas de nível superior.

5.1.2.6 CENTRO BHABHA DE PESQUISAS ATÔMICAS

Situado em Trombay, junto a Bombay, possui mais de 12.000 pessoas. Ocupa extensa área protegida de um lado pelo mar e do outro por elevações de certo porte. Só possui duas entradas, uma pelo mar e outra por terra, dispondo de forte dispositivo de segurança.

Em 1959 foi obtido o primeiro urânio nuclearmente puro e foi fabricado o primeiro elemento combustível. Com os ensinamentos colhidos em escala piloto, foi construído enorme complexo de fabricação de combustível nuclear em Hyderabad, já em pleno funcionamento.

Desde 1970 é obtido, através do Tório irradiado, o Urânio-233.

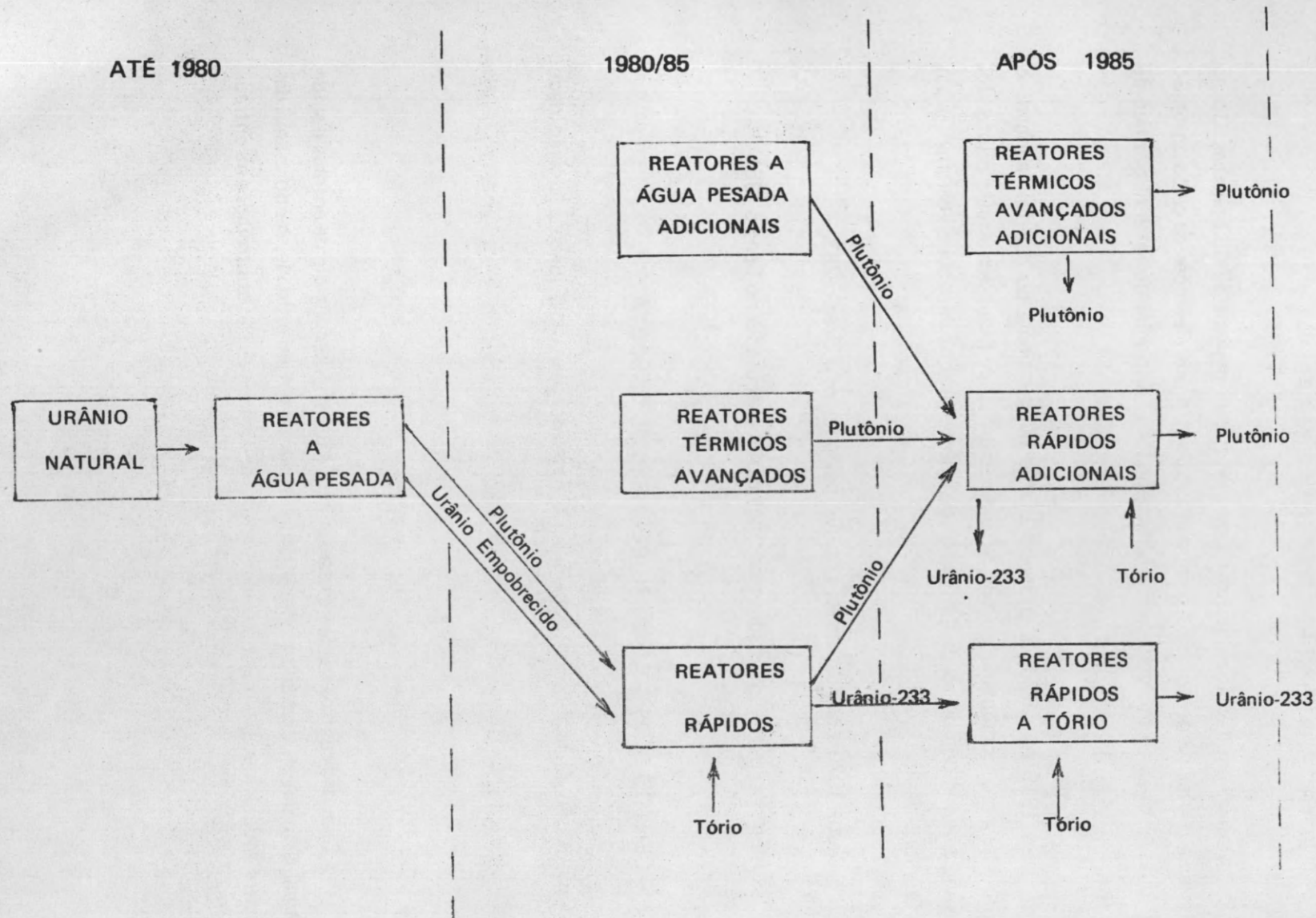
Inúmeras outras atividades tecnológicas são executadas no Centro [36].

5.1.2.7 CENTRO DE PESQUISAS NUCLEARES DE CALCUTÁ

Aí são realizados os trabalhos de pesquisa científica, junto a Universidade local.

5.1.2.8 SEGURANÇA

A área dos centros nucleares está sujeita a um rígido controle de entrada e saída de pessoal e material, contando com guardas armados em quantidade, sendo a área das instalações toda cercada, e mesmo os elementos, de alto nível, são controlados na entrada e na saída.



5.1.2.10 CONCLUSÕES

De tudo o que pudemos consultar, aliado ao que foi possível observar na Índia, concluímos que:

- A Índia estabeleceu em 1948 e vem cumprindo, especialmente a partir de 1954, quando foi criado o centro **BARC**, uma política nuclear de auto-suficiência, isenta de salvaguardas, objetiva e realista;

- O desenvolvimento da energia nuclear é feito metódica, sistemática e coordenadamente, denotando a idéia geral de ordem e trabalho de conjunto, sem precipitações e contramarchas;

- A água pesada é incluída em primeira prioridade no sistema geral.

Os pontos fundamentais do desenvolvimento nuclear foram atacados com realismo e podem ser resumidos em:

- formação e treinamento de pessoal no estrangeiro e no País com vistas objetivas a ciência e principalmente a tecnologia, visando criar um suporte tecnológico-industrial capaz de realizar as descobertas e aplicações desenvolvidas nos centros científicos locais e internacionais;

- geração de recursos próprios, através da venda de energia elétrica, produtos das areias monazíticas, aparelhagem eletrônica, etc, pois não seria possível desenvolver um enorme programa nuclear apenas com dotações orçamentárias;

- definição de uma política nuclear a curto, médio e longo prazos, e o seu cumprimento rigoroso e continuado [36].

5.1.3 ISRAEL

Segundo informações reservadas, Israel conta com uma rudimentar capacidade nuclear, produzindo Plutônio suficiente para uma pequena bomba por ano. O programa israelense é cercado de sigilo militar [34].

O Plutônio é produzido em um reator a urânio natural água pesada, com capacidade para a fabricação de uma ogiva nuclear por ano [2].

Possuindo pequeno território e população, suas necessidades energéticas são pequenas. Por outro lado, devido a situação política do Oriente Médio, os aspectos militares se tornam importantes para Israel.

De Israel temos a seguinte informação:

- Conta com grande número de cientistas de alto gabarito e não descuida da formação e treinamento de novos elementos;
- A prioridade das pesquisas é dada aos desenvolvimentos de alto nível com aplicações tecnológicas em áreas prioritárias;
- Da mesma forma que a Índia, Israel atacou decididamente o problema de geração de recursos para o financiamento da pesquisa, através da criação de companhias comerciais no próprio âmbito dos centros de Pesquisa.

5.1.3.1 INSTITUTO WEIZMANN

Provém do pequeno Instituto de Pesquisas Daniel Sieff, fundado em 1934 pelo Dr. Weizmann, seu primeiro Diretor e mais tarde Presidente de Israel.

As pesquisas são realizadas em nada menos de 19 Departamentos grupados em 5 Divisões, além de um Departamento de Ensino. Nele trabalham cerca de 2.200 pessoas.

5.1.3.2 INSTITUTO SOREQ

Semelhante ao Instituto Weizmann, mais moderno e mais amplo.

5.1.3.3 ACORDO COM ISRAEL

Visava a cooperação entre o Brasil e Israel no desenvolvimento tecnológico da produção de água pesada pelo processo das aminas, incluindo a compra da patente (10 mil dólares) e o intercâmbio de cientistas, comportando uma futura compra, por parte de Israel, de parte da água pesada produzida no Brasil. Foi tratado durante nossa visita, e atualmente acha-se em ponto morto devido a situação bélica do Oriente Médio.

5.1.4 OUTROS PAÍSES

Segundo o SIPRI [34], as possibilidades dos outros países não nucleares entre os 15 citados em 5.1, são:

5.1.4.1 EGITO

Tem tecnologia nuclear inferior a ISRAEL, não havendo condições de desenvolver sua capacidade nuclear a curto prazo.

O reator soviético instalado em INCHAS, perto do CAIRO, é provavelmente muito pequeno para produzir Plutônio em quantidade suficiente para armas nucleares. Ainda não foi iniciada a construção do reator de grande potência de Alexandria.

5.1.4.2 ÁFRICA DO SUL

Conta com uma das maiores reservas de urânio do mundo e tem obtido significativos avanços na tecnologia nuclear, tendo iniciado um grande programa nuclear. Em 1978/80 sua primeira usina produzirá o Plutônio necessário à fabricação de armas nucleares.

5.1.4.3 JAPÃO

É um dos principais países no campo das aplicações nucleares civis. Em 1985, 25% da energia elétrica será de origem nuclear e em 2000, da ordem de 70%.

Há reatores de pesquisa em diversas linhas.

5.2 REATORES DE POTÊNCIA

Muitos países desenvolvidos procuraram a utilização da energia nuclear, de modo mais ou menos independente. Assim, surgiram os reatores refrigerados a gás na Inglaterra, os refrigerados a Água Leve nos Estados Unidos, os refrigerados a Água Pesada no Canadá, existindo ainda outros tipos em fase de desenvolvimento.

Mais tarde, outros países adotaram comercialmente uma ou várias das tecnologias existentes, e passaram a se preocupar nas suas pesquisas, com os reatores avançados.

Os países mais adiantados se empenham atualmente no desenvolvimento de reatores de fusão nuclear, havendo protótipos em construção nos Estados Unidos, Inglaterra e Rússia.

A América Latina possui 13 reatores de pesquisa:

- Argentina	5
- Brasil	3
- México	2
- Colômbia	1
- Porto Rico	1
- Venezuela	1

Brevemente, Chile e Uruguai instalarão seus reatores.

Faremos, a seguir, um pequeno estudo comparativo entre as centrais nucleares de potência em operação ou em construção em todo o mundo, com base em dados de SET 73 [37]. Para os Estados Unidos possuímos dados mais recentes, de ABR 74 [38].

Os Estados Unidos, premidos pelas necessidades bélicas de material fssil e reatores compactos para belonves, embora tenham sido os primeiros a utilizar a água pesada, desenvolveram e comercializaram largamente os reatores a água leve, mantendo o mais possível o monopólio do Urânio-235.

5.2.1 PROGRAMAS DE REATORES DE POTÊNCIA [37]

- ALEMANHA OCIDENTAL

Em operação	9	3.110 MW
Em construção	11	10.634 MW
Encomendadas	2	1.582 MW
TOTAL	22	15.326 MW

- ALEMANHA ORIENTAL

Em operação	2	515 MW
Em construção	3	1.320 MW
TOTAL	5	1.835 MW

ARGENTINA

Em operação	1	319 MW (água pesada)
Encomendadas	1	600 MW (água pesada)
TOTAL	2	919 MW

O Reator de Atucha começou a operar em fins de Março do corrente, com 75 MW. Há notícias da encomenda de um terceiro reator, água pesada, de 600 MW.

- AUSTRIA

Encomendadas	3	692 MW
--------------	---	--------

- BÉLGICA

Em operação	1	390 MW
Em construção	2	1.160 MW
TOTAL	3	1.650 MW

- BULGÁRIA

Encomendadas	4	1.760 MW
--------------	---	----------

- CANADA

Em operação	6	2.504 MW (água pesada)
Em construção	3	2.090 MW (água pesada)
Encomendadas	2	1.490 MW (água pesada)
TOTAL	11	6.084 MW

O Canadá tem projetos para reatores a água pesada fervente e pressurizada, já tendo vendido reatores à Índia e Pasquitào.

- COREIA

Em construção	1	564 MW
---------------	---	--------

- ESPANHA

Em operação	3	1.073 MW
Em construção	6	5.406 MW
Encomendada	1	930 MW
TOTAL	10	7.139 MW

Há notícias não confirmadas do planeamento de mais 60 reatores, até o fim do século.

- ESTADOS UNIDOS [39]

Em operação	44	26.389 MW
Em construção	54	51.669 MW
Encomendados	109	119.481 MW
TOTAL	207	197.579 MW

Apenas 1 usina de 330 MW e refrigerada a gás; as demais são de Água Leve.

- FINLÂNDIA

Em construção	1	420 MW
Encomendadas	2	1.080 MW
TOTAL	3	1.500 MW

- FORMOSA

Em construção	2	1.208 MW
Encomendadas	2	1.902 MW
TOTAL	4	3.110 MW

- FRANÇA

Em operação	11	2.964 MW
Em construção	4	3.640 MW
Encomendadas	2	1.990 MW
TOTAL	17	8.594 MW

Há notícias não confirmadas de que a França teria encomendado 13 novos reatores, face as implicações da recente crise do petróleo.

- HOLANDA

Em operação	2	505 MW
-------------	---	--------

- HUNGRIA

Encomendadas	2	880 MW
--------------	---	--------

- ÍNDIA

Em operação	4	784 MW (2 a água pesada)
Em construção	3	604 MW (água pesada)
TOTAL	7	1.388 MW

- INGLATERRA

Em operação	19	5.601 MW (1 rápido)
Em construção	10	6.300 MW
TOTAL	29	11.901 MW

- ITÁLIA

Em operação	3	547 MW
Em construção	2	880 MW
TOTAL	5	1.427 MW

- JAPÃO

Em operação	7	2.972 MW
Em construção	16	12.327 MW
Encomendado	1	200 MW (rápido)
TOTAL	24	15.499 MW

- MÉXICO

Em construção	1	600 MW
---------------	---	--------

- PAQUISTÃO

Em operação	1	125 MW (água pesada)
-------------	---	----------------------

- RÚSSIA

Em operação	9	2.579 MW
-------------	---	----------

Em construção	8	5.050 MW
---------------	---	----------

TOTAL	17	7.639 MW
-------	----	----------

- SUÉCIA

Em operação	1	440 MW
-------------	---	--------

Em construção	7	5.109 MW
---------------	---	----------

TOTAL	8	5.549 MW
-------	---	----------

- SUÍÇA

Em operação	3	1.006 MW
-------------	---	----------

Em construção	2	1.770 MW
---------------	---	----------

Encomendado	1	900 MW
-------------	---	--------

TOTAL	6	3.676 MW
-------	---	----------

- TCHECOSLOVÁQUIA

Em operação	1	110 MW (água pesada)
-------------	---	----------------------

Em construção	1	440 MW
---------------	---	--------

Encomendadas	3	1.320 MW
--------------	---	----------

TOTAL	5	1.870 MW
-------	---	----------

Em resumo temos:

Em operação	127	51.933 MW
-------------	-----	-----------

Em construção	137	101.091 MW
---------------	-----	------------

Encomendadas	129	132.587 MW.
--------------	-----	-------------

Podemos notar os primeiros efeitos da última crise do petróleo no grande número de centrais recentemente encomendadas, que entrarão em operação nos próximos 5 ou 7 anos.

Por outro lado, podemos ver que a potência média dos reatores em construção e encomendados é, praticamente, o dobro da potência média dos reatores em operação.

Muitos dos reatores encomendados ultrapassam mesmo os 1.000 MW, o que barateará certamente os custos, por ação da economia de escala.

Ao todo teremos 393 reatores de potência, com 285.611 MW nos próximos 7 anos.

VI— APLICAÇÕES MILITARES

Neste capítulo recordaremos as aplicações militares provenientes da liberação explosiva de energia nuclear, lembrando a grande importância atual do poder de dissuasão, representado pela posse de artefatos nucleares.

6.1 ARTEFATOS NUCLEARES

Liberam tremendas quantidades de energia tendo, porém, os inconvenientes do custo elevado e de liberarem radiações nocivas, que permanecem por muito tempo no local, além de parte delas se espalharem pelo mundo todo. As bombas "limpas" produzem muito menor quantidade de radiações perigosas, porém, todas elas engendram poderosas ondas de sopro e elevadíssimas temperaturas.

6.1.1 BOMBA ATÔMICA (FISSÃO)

A fissão de 1 Kg de Urânio-235 ou Plutônio-239 produz a mesma quantidade de energia que 2.450 toneladas de carvão ou 20.000 toneladas de trinitrotolueno (TNT).

A temperatura da explosão de uma bomba de fissão é de 10 a 50 milhões de graus, (Bola de Fogo). Tal temperatura é suficiente para permitir a detonação de uma bomba de Hidrogênio [40].

Apenas 8 Kg de Plutônio Militar (95% de Plutônio-239) ou 25 Kg de urânio enriquecido [2], são necessários para um artefato de 20 Kilotons (semelhante aos de HIROSHIMA e NAGASAKI). Basicamente, a simples reunião de tais massas dará lugar a

explosão nuclear.

6.1.1.1 PRIMEIRA EXPLOSÃO ATÔMICA

Estados Unidos	1945
Rússia	1949
Inglaterra	1952
China	1964
India	1974

6.1.2 BOMBA DE HIDROGÊNIO (FUSÃO)

As vantagens da bomba de fusão são o seu custo relativamente mais baixo, potência elevada e pouca produção de elementos radioativos.

O emprego do **LASER** a tornará mais barata e mais limpa [40].

6.1.2.1 PRIMEIRA EXPLOSÃO TERMONUCLEAR

Estados Unidos	1952
Rússia	1953
Inglaterra	1957
China	1967
França	1968

Para a bomba de Hidrogênio é necessário o deutério, que pode ser obtido da água pesada e o trítio, que pode ser obtido através do lítio.

A espoleta seria uma pequena bomba atômica ou um detonador a **LASER**.

6.2 PROGRAMA MILITAR

A seguir, serão traçadas algumas considerações sobre um programa de fabricação de artefatos nucleares, no que diz respeito a parte nuclear propriamente dita.

6.2.1 RELAÇÕES COM O PROGRAMA NACIONAL

O Cronograma de execução de um projeto de fabricação de um artefato nuclear, está vinculado a execução, com êxito, e isenta de SALVAGUARDAS, das etapas de tecnologia industrial de fabricação das matérias primas indispensáveis: Urânio-235, Urânio-233 ou Plutônio-239, no caso da bomba de fissão e, além disso, deutério e trítio, no caso da bomba de fusão.

6.2.2 CUSTOS

Segundo dados fornecidos pelas Nações Unidas [3] em 1968, o custo total das 3 usinas de separação isotópica dos Estados Unidos foi da ordem de 2,3 bilhões de dólares, com custos de operação anuais de 600 milhões, resultando num custo de 12.000 dólares o quilo de urânio militar (enriquecimento de 90 a 95% em Urânio-235).

Complexos para a produção de 160 Kg de Plutônio militar custam 87 milhões de dólares, com um custo de operação de 10 milhões anuais, o que resultaria num custo de 120.000 dólares o quilo de plutônio militar.

6.2.2.1 OPÇÃO PLUTÔNIO [3]

Considerando o alto custo das plantas de enriquecimento, um país que pense em um pequeno número de ogivas nucleares por ano adotará a linha do Plutônio.

Para a montagem de 10 ogivas de 20 kilotons por ano, o investimento seria de 8 milhões de dólares, com custos anuais de operação de 1 milhão. O teste subterrâneo de 4 ogivas custaria 15 milhões. O programa de 10 ogivas anuais custaria 19 milhões, com 1,9 milhões por ogiva.

Os valores apresentados são aproximados, devido ao atual sigilo que cerca os programas militares, e se referem a 1968.

Cumprе lembrar, também, que o objetivo do estudo apresentado pela ONU era desestimular a idéia de prováveis programas militares por parte de países não nucleares.

6.2.2.2 IMPLICAÇÕES DO CRESCIMENTO DOS RECURSOS EM PLUTÔNIO

O custo do desenvolvimento de ogivas nucleares a plutônio vem caindo progressivamente, a medida que a tecnologia envolvida vem sendo absorvida pelos países não nucleares que podem evitar as direções improfícuas que as potências nucleares tiveram que experimentar as suas próprias custas.

Por outro lado, o grande aumento no número de reatores de potência instalados em todo o mundo, tornará disponível grande capacidade potencial de produção de plutônio militar.

6.2.3 ETAPAS FUNDAMENTAIS

Para as bombas atômicas necessitaríamos de urânio enriquecido ou plutônio, nenhum dos dois existentes na natureza.

Além dos materiais nucleares básicos, necessitaríamos um corpo de pessoal especializado estimado em 1.300 e 500 cientistas [3], bem como moderna base industrial, tendo em vista a produção contínua de artefatos militares.

Para um modesto programa de armas nucleares, o Brasil já possui o urânio natural suficiente [41].

6.2.3.1 PLANTA DE ENRIQUECIMENTO

Não dispondo o Brasil do "KNOW-HOW" necessário, somente poderemos construí-la se alguma das grandes potências se dispuser a nos fornecer o projeto, sem dúvida mediante SALVAGUARDAS, o que nos tirará qualquer possibilidade de usar o urânio enriquecido obtido, senão em reatores e sob severa vigilância.

6.2.3.2 PRODUÇÃO DE PLUTÔNIO MILITAR

Muito mais barato, vem sendo adotado por países como Israel, Argentina, Espanha, Índia, Japão, Canadá e Itália, além dos grandes [42].

Implica na construção de um reator a urânio natural com grafite ou água pesada, otimizado para a produção de Plutônio-239, através da limitação do tempo de irradiação para cerca de 6 meses, o que manterá a quantidade de Plutônio-240 (não físsil) abaixo de 10%.

Caso contrário será produzido mais plutônio não militar, que poderá ser usado em reatores rápidos [2].

Como os reatores gás-grafite estão obsoletos para a produção de energia elétrica, se adotássemos a construção desse tipo de reator, embora de tecnologia mais fácil, ficaria caracterizado nosso interesse na produção de plutônio sem SALVAGUARDAS.

A opção água pesada permitiria a produção de Energia Elétrica e Plutônio, otimizada numa ou noutro, segundo nosso interesse.

O plutônio para fins militares deve ter pelo menos 90% de Plutônio-239.

Os reatores rápidos produzirão muito plutônio, que poderá ser processado com relativa facilidade para a obtenção do Plutônio-239, pois contêm da ordem de 90% de Plutônio-239.

Nos reatores LWR (água leve) o plutônio produzido contêm da ordem de 70% de Plutônio-239, enquanto que nos de gás-grafite e água pesada pode chegar a 85%, desde que o reator seja operado tendo esse fim em vista.

A aquisição do reator CANDU de CORDOBA com 50% de fabricação local, poderá dar à Argentina completa independência na produção de plutônio, desde que construam sua fábrica industrial de água pesada. A Argentina poderá dispor, então, de plutônio antes de 1980 e terá suas bombas entre 1980 e 1982 [59].

O reator CANDU é considerado Plutonífero militar [3].

6.2.3.3 REPROCESSAMENTO

Os elementos combustíveis irradiados devem sofrer complexo tratamento em uma usina de reprocessamento, para a extração e purificação do plutônio, e, reaproveitamento do urânio não irradiado.

6.2.3.4 UTILIZAÇÃO DO TÓRIO

Permitirá o aproveitamento de nossas enormes reservas, garantindo independência energética futura, além de facultar, numa etapa mais avançada, a produção de Urânio-233, utilizável como detonador de bombas de hidrogênio, e em reatores térmicos ou rápidos, inclusive os de propulsão naval [2].

6.2.4 ALTERNATIVAS

O Fundamental do Programa seria a obtenção do elemento físsil, embora a construção de um artefato nuclear ofereça problemas tecnológicos que teriam que ser detalhadamente estudados e resolvidos.

1ª Alternativa: Urânio Enriquecido

- Projeto e construção de uma usina de enriquecimento
- Investimento: 700 milhões de dólares
- Salvaguardas: problema a ser equacionado

2ª Alternativa: Plutônio

- Projeto e construção de um reator a urânio natural, para a produção de Plutônio
- Investimento: 100 milhões de dólares
- Salvaguardas: contornável
- Planta de reprocessamento de combustível irradiado, para a extração e purificação do plutônio
- Investimento: 70 milhões de dólares
- Salvaguardas: contornável [42].

A segunda alternativa poderia dar ao Brasil a bomba, dentro de 10 a 15 anos, uma vez que o nosso País já dispõe da tecnologia de produção do urânio natural.

A Argentina escolheu a 2ª alternativa, com reator a água pesada. Há 5 anos que está sendo construída uma usina de água pesada, isenta de salvaguardas [42].

O contrato com a SIEMENS para a construção do reator de Atucha, obriga a que a 2ª carga do núcleo do reator seja inteiramente construída na Argentina. Isto lhes

garantirá o domínio do Ciclo de Combustível [42].

A decisão de construir uma usina de urânio natural, água pesada, que terminará sendo operada sem os compromissos de Salvaguarda para o plutônio produzido foi, preponderantemente militar, relegados a plano secundário os aspectos econômicos e de produção de Energia Elétrica [42].

O domínio da produção de propelentes e o início do programa de mísseis são indicações de que a Argentina procura um objetivo bem definido, com coordenação completa em todas as áreas [17].

A **CNEN** chegou a propor a construção de um reator de 40 MW, a água pesada, porém, o projeto foi abandonado em 1970.

O **INEN** preparou um programa relativo a reatores rápidos para execução em 10 anos. Esse programa daria ao País o domínio de todos os aspectos da tecnologia do plutônio, inclusive com uma pequena produção própria, embora sob Salvaguardas.

Não está sendo incrementado tal programa que permitiria a redução de todas as etapas de construção de artefatos nucleares, na medida da utilização do know-how já existente naquele programa [42].

O suprimento de matéria prima, necessária ao combustível dos submarinos nucleares, oferece os mesmos problemas que o da bomba atômica [42].

Segundo o Relatório do Grupo de Trabalho de Reatores de Potência do **IME** [30], o Brasil deve perseguir a consecução de um estado potencial de produção de artefatos nucleares, não somente para fins de barganha e manutenção da hegemonia latino-americana, como também porque tal estágio pouco diferiria de um estágio tecnológico avançado para qualquer outro fim. As necessidades energéticas do Brasil até o ano 2000 justificariam por si só um programa nuclear intenso, que produzirá, a baixo custo, o estado potencial de aplicações militares.

Sente-se, da análise geral do comportamento da **CNEN** nos últimos anos, e de seus reflexos no desenvolvimento nuclear do País, particularmente nas linhas que objetivam a segurança nacional que:

- não parece ter existido uma integração de interesses e uma atuação suficientemente dinâmica na perseguição dessas linhas [30].

- pelas constantes reformulações de atividades, não parece ter sido atingido e posto em execução um programa de trabalho a longo prazo, estruturado em objetivos bem delineados [30].

- há uma exagerada influência das mudanças de direção da CNEN nos programas em execução, o que denota debilidade nos objetivos [30].

- não foi conseguida ainda uma conveniente coordenação entre os Institutos de Pesquisas capaz de coibir as dispersões de esforços [30].

- alguns programas, como o do reator nacional, utilizador de Tório, estão sofrendo um processo gradativo de extinção sem maiores considerações ou reformulações nacionais. Cabendo ao Tório o lugar de único material nuclear transformável em combustível que o Brasil detem em quantidades apreciáveis, até a presente data, deve merecer um tratamento especial [30].

6.3 NAVIOS DE GUERRA DE PROPULSÃO NUCLEAR

O esforço principal dos Estados Unidos e Rússia tem sido, em relação aos submarinos de propulsão nuclear, portadores de mísseis de ogiva nuclear, muito embora porta aviões e outros tipos de navios, também tenham sido construídos.

Entre os navios atômicos norte americanos temos 3 porta aviões, dentre os quais o ENTERPRISE e o NIMITZ, o cruzador LONG-BEACH, o destroyer BAINBRIDGE e 101 submarinos como o NAUTILUS, TRITON, GEORGE WASHINGTON, etc.

Os franceses possuem 4 submarinos, entre eles: REDOUTABLE, TERRIBLE, L'INDOMPTABLE e FOUDROYANT.

A Inglaterra tem 10 submarinos como: COURAGEOUS, SWIFTSURE, etc.

A Rússia possui 92 submarinos.

Os números citados são aproximados.

VII- CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O Setor de Energia Nuclear da DPET vem, há anos, colecionando e organizando informes e documentos referentes a Política e ao Desenvolvimento Nuclear nacional e mundial.

Nos 6 primeiros capítulos desse trabalho, procuramos apresentar os informes colhidos em mais de meia centena de referências bibliográficas acrescentando, em parte, observações pessoais, em especial no que se refere a Índia e Israel.

Procuraremos, agora, sintetizar tudo em alguns poucos conceitos, ao mesmo tempo que, apenas no intuito de despertar a atenção para aspectos do problema, que consideramos importantes, pedimos permissão para abordar certas linhas de ação e medidas que poderiam ser tomadas, com vistas a propiciar ao nosso país, o desenvolvimento nuclear autônomo, devidamente calcado nas hipóteses básicas de segurança nacional.

7.1 CONCLUSÕES

O exame dos informes obtidos nos leva a concluir que a importância dos diferentes tipos de utilização da Energia Nuclear cresce, vertiginosamente, e deverá ampliar ainda mais esse ritmo de crescimento, até o fim do século. Quanto aos itens mais importantes, podemos concluir, em relação a nossa pátria:

7.1.1 ENERGIA NUCLEAR

7.1.1.1 ENRIQUECIMENTO DO URÂNIO NATURAL

- Muito dispendioso
- Impraticável a construção de uma usina industrial sem experiência piloto prévia
- Estudos no início, devendo prosseguir
- Nenhum país fora do "clube atômico" faz enriquecimento do urânio natural atualmente
- Não há usinas industriais baseadas no processo das centrífugas
- As potências nucleares desestimularão, de todas as maneiras, sua construção por parte das outras.

7.1.1.2 PRODUÇÃO DE PLUTÔNIO

- Com um pequeno reator, pode-se obtê-lo para fins militares;
- É mais barato que o urânio enriquecido;

- E mais fácil de ser obtido sem salvaguardas;
- Países fora do "clube nuclear", já o produzem.

7.1.1.3 PRODUÇÃO DE URÂNIO-233

- Muito importante, devido as nossas disponibilidades em Tório-232;
- Já desenvolvida na Índia.

7.1.1.4 PRODUÇÃO DE ÁGUA PESADA

- Muito importante; é o melhor moderador, não sendo consumida nesse mister; é o combustível dos reatores de fusão;
- Muitos países fora das potências nucleares, possuem usinas piloto ou mesmo industriais;
- Existe um projeto conceitual completo, produto de 10 anos de trabalho no IME;
- Projeto prioritário do PBDCT;
- Exige investimentos muito menores que o enriquecimento;
- Não depende da existência de depósitos no país, como é o caso do urânio.

7.1.1.5 CUSTO DA ENERGIA NUCLEAR

- E competitivo em relação ao das usinas térmicas convencionais, devido a economia de escala e a atual crise do petróleo;
- A geração elétrica é imprescindível como complementação à geração hidroelétrica.

7.1.1.6 LINHAS DE REATORES

- O futuro será dos reatores rápidos e a fusão;
- Não poderemos chegar aos rápidos sem plutônio e urânio enriquecido ou Urânio-233;
- Os reatores térmicos avançados usarão, possivelmente, a água pesada e urânio enriquecido (SGHWR);

- Em 1980 deverão aparecer reatores rápidos comerciais e, os de fusão por volta de 1990.

7.1.2 POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA

7.1.2.1 PBDCT - PROJETOS PRIORITÁRIOS

- Tecnologia de reatores;
- Reatores rápidos;
- Tecnologia de combustíveis nucleares;
- Formação de pessoal;
- Prospeção de minérios de urânio;
- Pesquisas básicas;
- Emprego de radioisótopos;
- Irradiação de alimentos (M.Ex.);
- Água Pesada (M.Ex.).

7.1.2.2 SALVAGUARDAS

Visam impedir aos países não nucleares, a produção ou utilização de materiais físséis para fins bélicos, assim tolhendo consideravelmente o desenvolvimento nuclear desses países.

7.1.2.3 TRATADO DE NÃO PROLIFERAÇÃO DE ARMAS ATÔMICAS

- O Brasil não assinou o **TNPAA** porque seu texto implica em entrave tecnológico e em um limite ao desenvolvimento nacional;
- Também não assinaram, a Índia, Paquistão, Israel, Espanha, África do Sul, Portugal, Argentina e Chile;
- Entre os que não o ratificaram encontram-se o Japão, Suíça, Turquia e Egito.

7.1.2.4 TRATADO DE TLATELOLCO

O Brasil o assinou, porém sabe que o mesmo não entrará em vigor devido a cláusula de exigência de universalidade no âmbito regional.

7.1.2.5 CONVÊNIOS

Foram assinados com Estados Unidos, Israel, Índia, Alemanha, França, Espanha e Inglaterra.

7.1.3 DESENVOLVIMENTO NUCLEAR BRASILEIRO

7.1.3.1 COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

- Centro de informações nucleares, muito importante para a pesquisa e o desenvolvimento;

- Diversos projetos antigos, mas importantes, estão abandonados;

- Não há representação das Forças Armadas nos órgãos de deliberação da

CNEN

7.1.3.2 COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR

- Em expansão;

- Grande diversidade de programas;

- Estrutura industrial pequena;

- Recursos gerados, principalmente, pelo imposto único sobre combustíveis e lubrificantes, PETROBRAS e ELETROBRÁS;

- Industrialização parcial dos produtos das areias monazíticas;

- Iniciou um programa de estudos de grafite.

7.1.3.3 USINA NUCLEAR DE ANGRA DOS REIS

- Grande transferência de know-how periférico em projeto e construção;

- Pouca transferência de know-how na parte nuclear;

- Sua instalação teve em vista a necessidade imediata da energia na região centro-sul, levados em conta o custo e confiabilidade da central;
- Pouco representa em relação aos aspectos de segurança e autonomia nuclear.
- Custo de instalação Cr\$ 1.820.400.000,00 contra um custo do reator de Córdoba, a água pesada, de Cr\$ 1.700.000.000,00 (não confirmado).

1

7.1.3.4 DIRETORIA DE PESQUISA E ENSINO TÉCNICO

- Executa dois programas prioritários de grande importância;
- As verbas são bastante limitadas e provêm da **CNEN**, em sua maior parte;
- Os dois projetos estão em condições de serem atacados com a devida intensidade, caso sejam fornecidas as verbas convenientes.

7.1.3.5 FORMAÇÃO E TREINAMENTO DE PESSOAL

- Orientação da **CNEN** para mestrado e doutorado teórico;
- Pouco treinamento de engenharia e tecnologia;
- O curso dado no **IME** era o único a dar a formação global em engenharia nuclear, levando elementos de nível superior de todas as especialidades a falarem a linguagem comum nuclear;
- Os outros cursos de mestrado não facultam essa visão global;
- O número de militares pós-graduados e em nível de mestrado no **IME**, após a extinção do curso de pós-graduação em Energia Nuclear, é mínimo, apenas 16, e a renovação é muito pequena, o que tende a agravar o problema.
- Há grande deficiência de auxiliares de nível médio.

7.1.3.6 PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO

- A complementação nuclear na região centro-sul do país é necessária e competitiva;
- Os reatores PWR não são cogitados, mundialmente, no que diz respeito ao futuro da geração nuclear; somente os rápidos o são;
- Os programas básicos são muito sensíveis às mudanças de direção da **CNEN**;

- A ser cumprido o programa previsto de 75.000 MW de geração nuclear até o fim do século [14], os gastos em moeda estrangeira serão muito elevados e nossa dependência do urânio enriquecido será muito grande e enormes serão os dispêndios em divisas.

7.1.4 POSSIBILIDADES TÉCNICAS NACIONAIS

7.1.4.1 PROSPECÇÃO DE MINÉRIOS NUCLEARES

O grosso dos recursos de 1974 será lançado em prospecção de urânio.

- Reservas Brasileiras de Urânio.
- Já foram registradas milhares de ocorrências de Urânio no Brasil, porém, raramente os mesmos correspondem a um depósito economicamente explorável.
- As reservas medidas de urânio são:

Até Cr\$ 143/Kg	2.840 ton
De Cr\$ 143/Kg a Cr\$ 215/Kg	1.100 ton

- As reservas estimadas são:

Até Cr\$ 143/Kg	3.000 ton
De Cr\$ 143/Kg a Cr\$ 215/Kg	2.100 ton

- FONTES POTENCIAIS DE URÂNIO

- Há estudos para definir reservas estimadas em mais de 2.000 ton.
- Conforme a evolução dos preços, poderão ser aproveitadas reservas de baixo teor, da ordem de 70.000 ton.

- NECESSIDADES BRASILEIRAS DE URÂNIO

- A usina de Angra consome 90 t anuais de urânio natural, que correspondem a 17.5 t em urânio enriquecido a 4%.
- A demanda prevista até o fim do século é de 90.600 ton acumuladas, que só poderão ser satisfeitas caso se confirme a evolução dos preços prevista, bem como as

tonelagens estimadas.

7.1.4.2 PERSPECTIVAS PARA AS INDÚSTRIAS DO CICLO DE COMBUSTÍVEIS

- Até o ano 2.000 precisaremos fabricar 1.580 ton de elementos combustíveis para os LWR e 690 ton para os FBR.
- Até o fim do século precisaremos reprocessar 1.080 ton de elementos combustíveis irradiados dos LWR e 245 dos FBR.
- No mesmo período teremos que obter o enriquecimento correspondente às 1.580 ton dos LWR.
- Os gastos anuais no ciclo de combustíveis serão da ordem de 6 milhões de dólares em 1980 e 750 milhões no fim do século.
- Para a instalação de 35 MW até o ano 2000, segundo a estratégia HWR + FBR, precisaríamos apenas 2.400 ton de urânio, ao passo que os LWR consumiriam 71.500 ton.

7.1.4.3 LEVANTAMENTO DA INDÚSTRIA NACIONAL

- De um total de 1.464 componentes do reator LWR, nossa indústria poderá fabricar 829 atualmente.
- 258 componentes adicionais poderão ser fabricados até 1977 e 170 outros até 1982, restando 207 de fabricação improvável em futuro próximo.

7.1.5 ENERGIA NUCLEAR EM OUTROS PAÍSES

7.1.5.1 DESENVOLVIMENTO NUCLEAR

- Índia, Israel, Argentina, Brasil, etc., estariam em condições de desenvolver, a curto ou médio prazo, armas nucleares;
- Nenhum desses países assinaram o TNPA;
- Argentina e Índia possuem usinas de Plutônio.

- ARGENTINA

- Desenvolvimento nuclear nitidamente superior ao do Brasil;
- Possui consideráveis reservas de urânio;
- Linha de reatores que permitirá tornar-se independente de qualquer fornecimento externo;
- Algumas instalações com materiais não salvaguardados;
- Parte do ciclo de combustíveis atingiu a escala industrial;
- Grande centro de testes de materiais, com a ajuda da AIEA, em instalação.

- ÍNDIA

- Muito adiantada em tecnologia nuclear;
- Programa a longo prazo definido com precisão e objetivos;
- Reatores térmicos a água pesada é a linha atual, dentro da estratégia global a longo prazo;
- Possui 5 fábricas pequenas de água pesada;
- Possui material físsil militar suficiente para várias bombas (plutônio);
- Grande industrialização das areias monazíticas;
- Maiores reservas do mundo em Tório, cuja tecnologia já desenvolveu até a produção de Urânio-233 nuclearmente puro;
- Estrutura realística industrial produzindo recursos para o seu próprio desenvolvimento, ao par das dotações governamentais;
- O problema nuclear é tratado em nível de ministério;
- Grande número de centros nucleares espalhados por todo país;
- Grande adiantamento em reatores rápidos, com colaboração francesa;
- Não permite o registro de patentes relativas aos itens nucleares, considerados de segurança nacional, de um modo global;
- Grande contingente de pessoal treinado em todos os níveis.

- ISRAEL

- Conta com pequena quantidade de armas nucleares;
- Centros de pesquisas grandes, bem aparelhados, com pessoal científico de alto nível;
- Necessidades energéticas pequenas;
- Aspecto militar prioritário.

7.1.5.2 REATORES DE POTÊNCIA

- Após a crise do petróleo foram enormemente aumentadas as encomendas de reatores de potência, especialmente nos Estados Unidos e França.
- Existem protótipos de reatores de fusão nuclear em construção em diversos países.
- No início de 1974 existiam em todo o mundo os seguintes reatores de potência:

Em operação	127	51.933 MW
Em construção	137	101.091 MW
Encomendados	129	132.587 MW.

- A potência média dos reatores encomendados é, praticamente, o dobro da potência média dos reatores em operação. Ao todo serão 393 reatores de potência, com 285.611 MW.

7.1.6 APLICAÇÕES MILITARES

7.1.6.1 ARTEFATOS NUCLEARES

- São necessários 8 Kg de Plutônio militar (95% de Pu 239) ou 25 Kg de Urânio-235 militar para uma bomba atômica de 20 Kilotons (semelhante as de HIROSHIMA e NAGASAKI).
- As bombas de hidrogênio são mais baratas, mais potentes e produzem pouca radioatividade residual, especialmente se o detonador for a laser, e não uma bomba atômica.

7.1.6.2 PROGRAMA MILITAR

- Exige a obtenção, sem SALVAGUARDAS, de materiais ffsseis: Urânio-235, Urânio-233 ou Plutônio-239, no caso da bomba de fissão e, além disso, deutério e trício, no caso da bomba de fusão.
- O custo das 3 usinas de enriquecimento americanas foi de 2,3 bilhões de dólares, com custos anuais de operação de 600 milhões, resultando em 12.000 dólares para o quilo de Urânio enriquecido.

- Para 10 ogivas de 20 Kilotons anuais, seriam necessários 8 milhões de dólares de investimento e 1 milhão de custos anuais de operação (dados de 1968).
- Para um modesto programa de bombas, o Brasil já possui Urânio natural suficiente.
- O Plutônio poderá ser obtido em um pequeno reator a água pesada.
- Se obtivermos o Plutônio em um reator a grafite, estaria caracterizado nosso interesse militar, ao passo que no de água pesada teríamos a opção, energia elétrica.
- O Tório nos permite obter Urânio-233, sendo utilizável como detonador de bombas de hidrogênio, em reatores térmicos, rápidos e inclusive os de propulsão naval.
- É mais fácil contornar as SALVAGUARDAS com reatores a água pesada, a exemplo do que tem sido feito na Índia, Israel, etc.
- Um estado potencial de produção de artefatos nucleares pouco difere de um estágio tecnológico avançado para qualquer outro fim.

7.2 SUGESTÕES

Tendo em vista o atendimento dos superiores interesses do desenvolvimento e segurança nacionais e pedimos licença para sugerir:

7.2.1 ASPECTO NORMATIVO

- Criação de uma representação das Forças Armadas, na Comissão Deliberativa da **CNEN**, com direito a veto, em assuntos de Segurança Nacional.
- Definição e aprovação de uma estratégia global, a curto, médio e longo prazo, visando todos os aspectos da utilização da Energia Nuclear e coerente com nosso desenvolvimento autônomo.
- Subordinação da **CNEN**, a exemplo do que acontece na maioria dos países, diretamente a Presidência da República.
- Ativação de um centro de pesquisas de energia nuclear no âmbito do Ministério do Exército.
- Ampliação da base industrial da **CBTN**, tornando-a capaz de gerar fundos que permitam a intensificação dos trabalhos, nos setores de monopólio governamental, a exemplo do que é feito na Índia e em Israel. Tal ampliação diz respeito a produção de compostos acabados de zircônio, titânio, terras raras, lítio, etc.
- Proibição do registro de patentes nos setores vitais da energia nuclear, de interesse da segurança nacional.

7.2.2 ASPECTO TÉCNICO

- Intensificação da formação e aperfeiçoamento de pessoal, visando, prioritariamente, à tecnologia nuclear.
- Ativação dos laboratórios e instalações piloto do ciclo de combustíveis.
- Desenvolvimento prioritário do projeto da usina piloto de água pesada.
- Desenvolvimento, isento de SALVAGUARDAS, de um pequeno reator plutonífero.
- Montar uma estrutura capaz de chegar, a médio e longo prazo, aos reatores rápidos e de fusão.
- Reativação do grupo do tório.
- Reservar o urânio obtido no Brasil para um programa isento de SALVAGUARDAS.
- Reativação da formação, em nível de pós-graduação, de Engenheiros Nucleares, no Exército.

7.2.3 ESTRATÉGIA NUCLEAR PARA UM DESENVOLVIMENTO AUTÔNOMO

1ª Fase - REATORES A ÁGUA PESADA

- Obtenção do urânio natural nuclearmente puro;
- Fabricação dos elementos combustíveis de urânio natural;
- Produção de Água Pesada;
- Fabricação do reator a urânio natural - água pesada;
- Operação do reator, tendo em vista a obtenção do plutônio.

2ª Fase - REATORES RÁPIDOS A PLUTÔNIO

- Separação do Plutônio;
- Fabricação dos elementos combustíveis - Plutônio-Tório;
- Fabricação do reator rápido a Plutônio-Tório;
- Operação do reator rápido e fabricação do Urânio-233.

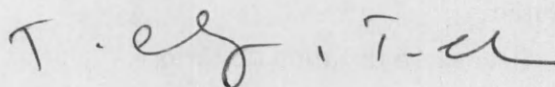
3ª Fase - REATORES RÁPIDOS A TÓRIO (AUTONOMIA)

- Separação do Urânio-233;
- Fabricação dos elementos combustíveis Urânio-233-Tório.

4ª Fase - REATORES DE FUSÃO (MANUTENÇÃO DA AUTONOMIA)

- Aproveitamento da Água Pesada de reatores;
- Fabricação do reator de fusão.

Rio, 10 de Julho de 1974.



TEÓFILO PORTELA CHAGAS

Ten Cel Ch do Setor de Energia Nuclear
da Diretoria de Pesquisa e Ensino Técnico

BIBLIOGRAFIA

- 1 - A POLÍTICA DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN - 1974
- 2 - A CONJUNTURA NUCLEAR BRASILEIRA - Antonio Didier Vianna - CMG-RRm - 1973
- 3 - UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY - A-6858 - 10 OUT 67
- 4 - PRODUÇÃO DE ÁGUA PESADA - Seminário - Ten Cel Teófilo Portela Chagas - 1973
- 5 - SEGURANÇA DE UMA USINA NUCLEAR - Furnas S.A.
- 6 - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - ANNUAL REPORT - 1 JUL 72 - 30 JUN 73
- 7 - USINAS NUCLEARES - Furnas S.A.
- 8 - ENERGIA NUCLEAR - Relatório, Eng. G. Rocha Lima - 31 MAR 70
- 9 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPLANTAÇÃO DA PRIMEIRA CENTRAL NUCLEAR, NA REGIÃO CENTRO-SUL - ASPED - 1970
- 10 - SIZE EFFECT AND COST OF INCREMENTAL CAPACITY FOR LIGHT WATER REACTORS - P. Zmola - AIEA - 1971
- 11 - NUCLEAR POWER PLANTS WITH INTEGRATED STEAM ACCUMULATORS FOR LOAD PEAKING - AIEA - P. Gilli, K. Fritz - 1971
- 12 - COMPETITIVENESS AND INTEGRATION OF NUCLEAR POWER PLANTS IN SYSTEMS THAT ARE MOSTLY HYDRO-ELECTRIC - Cintra do Prado - AIEA - 1971
- 13 - AEC NEWS RELEASES - United States Atomic Energy Commission Vol. 4 nº 47 - 21 NOV 73

- 14 - COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR - CBTN - 1974
- 15 - ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL E NA AMÉRICA LATINA - Eng. Hécio Modesto da Costa - 10 OUT 68
- 16 - 1º PLANO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO 1972/74
- 17 - PLANO BÁSICO DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO 1973/4 - Presidência da República, Decreto 72527 de 25 JUL 73
- 18 - POLÍTICAS SETORIAIS - Ministério do Exército - Estado Maior do Exército - 28 FEV 72
- 19 - A AGRICULTURA BRASILEIRA NA ERA NUCLEAR - CENA - Piracicaba - 1972
- 20 - PROGRAMA DE TRABALHO DA CNEN PARA 1974
- 21 - GRUPO DE ESTUDOS DE ENERGIA NUCLEAR - AIEA - CNEN - Relatório JUN 1968
- 22 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - 1972
- 23 - INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA - ATIVIDADES - CBTN - 1973
- 24 - PLANO GERAL DE PESQUISA - Setor de Energia Nuclear - DPET - 1972
- 25 - SIMPÓSIO DE ENGENHARIA NUCLEAR DO IME - OUT 1970
- 26 - CATÁLOGO DA PÓS-GRADUAÇÃO DO IME - 1973
- 27 - CATÁLOGO DA COPPE
- 28 - A USINA NUCLEAR DE ANGRA - Nº 2 - Furnas S.A. - 1973
- 29 - BRAZILIAN NUCLEAR TECHNOLOGY COMPANY - ESSENTIAL INFORMATION - FEV 73

- 30 - RELATÓRIO DO GRUPO DE REATORES DE POTÊNCIA SOBRE O DOCUMENTO ROCHA LIMA - IME - 1970
- 31 - URÂNIO NO BRASIL - CNEN - 1974
- 32 - RELATÓRIO ASPED Nº 14 - CNEN - 1968
- 33 - AEC NEWS RELEASES - United States Atomic Energy Commission Vol. 4 nº 49 - 5 DEZ 73
- 34 - ANUÁRIO DO INSTITUTO INTERNACIONAL DE INVESTIGAÇÃO PARA A PAZ, SOBRE ARMAMENTO E DESARMAMENTO MUNDIAL - SIPRI - 1972
- 35 - RELATÓRIO DA VISITA DA DELEGAÇÃO DA CNEN A REPÚBLICA ARGENTINA 1965
- 36 - VISITA A ÍNDIA E ISRAEL - Ten Cel Alcyr Maurício e Ten Cel Teófilo Portela Chagas - 1973
- 37 - NUCLEAR NEWS (American Nuclear Society) Vol 16 nº 11 - SET 1973
- 38 - AEC NEWS RELEASES - United States Atomic Energy Commission Vol. 5 nº 5 - 30 JAN 74
- 39 - AEC NEWS RELEASES - United States Atomic Energy Commission Vol. 5 nº 16 - 17 ABR 74
- 40 - EXPLOSÕES NUCLEARES - A.A. Quadrado
- 41 - PLANO NACIONAL DE REATORES RÁPIDOS (PNRR) - 1973
- 42 - NOTAS SOBRE O PROBLEMA DA BOMBA ATÔMICA - Antonio Didier Vianna
- 43 - ATOMIC ENERGY IN JAPAN - Atomic Energy Commission
- 44 - BHABHA ATOMIC RESEARCH CENTRE - Atomic Energy Commission Department of Atomic Energy, Bombay, Índia

45 - CAPACIDADE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA PARA A FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE USINAS NUCLEARES - CBTN - 1973

46 - ÁGUA PESADA ESTUDO DE UMA LINHA DE AÇÃO - Teófilo P. Chagas - 1973

47 - NUCLEAR POWER IN ÍNDIA - Atomic Energy Comission Department of Atomic Energy, Bombay, Índia

48 - TARAPUR ATOMIC POWER

49 - CENTRO ATÔMICO EZEIZA - República Argentina - 1961

50 - INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA - M. Aeronáutica - 1961

51 - PROPOSTA ORÇAMENTÁRIA - DPET - 1973

52 - PROGRAMA BRASILEIRO DE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS - 1973

53 - A COOPERAÇÃO NUCLEAR LATINO-AMERICANA - Eng. Helcio Modesto da Costa - 24 MAR 69

54 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - 1973

55 - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL - Almte. A. Cunha de Andrade - NOV 1968

56 - O PROBLEMA DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL - Almte. A. Cunha de Andrade - 1970

57 - PANORAMA ATUAL DO EMPREGO DA ENERGIA NUCLEAR - Gen Uriel C. Ribeiro - 1968

58 - PLANO GERAL DA PESQUISA TECNOLÓGICA - DPET - 1974

59 - NUCLEAR INDUSTRY - ABR 73

60 - ECONOMICS OF NUCLEAR POWER REACTORS - L. Meyer - 1971

- 61 - INTRODUÇÃO A GERAÇÃO NÚCLEO-ELÉTRICA - W.S.Lepecki, C.M.Dale, J.C.Mello, C.W.Urban, G.A.Lages, S.S.Brito - 1968
- 62 - OPÇÕES PARA UM PROGRAMA DE REATORES - CNEN - JAN 1968
- 63 - ATOMIC INDUSTRY OF JAPAN - Japan Atomic Industrial Forum, Inc. - 1964
- 64 - CBTN - RELATÓRIO DA DIRETORIA - 1973

ERRATA

pag.	linha	onde se le	leia-se
✓i	13	nuclar	nuclear
✓2	28	tonelada de urânio	tonelada de urânio natural
✓4	9	1 milhão de dólares	1 bilhão de dólares
✓9	19	água leve	água pesada
✓10	11	podem ser grupado	podem ser grupados
✓11	21	restores	reatores
✓13	5	Tomakah	Tokamak
✓23	13	liberados	liderados
✓32	20	agricutura	agricultura
✓35	28	CBTN a acompanha	CBTN acompanha
✓48	13	com vista	com vistas
✓51	2	dos primeiros	das primeiras
✓52	25	nuclear	nuclear (Programa de Referência)
✓57	21	COMBUSTVEIS	COMBUSTIVEIS
74	18	belonves	belonaves
75	21	Paquitão	Paquistão
✓80	6	-	França 1960
92	10	os mesmos	as mesmas
93	11	35 MW	35.000 MW